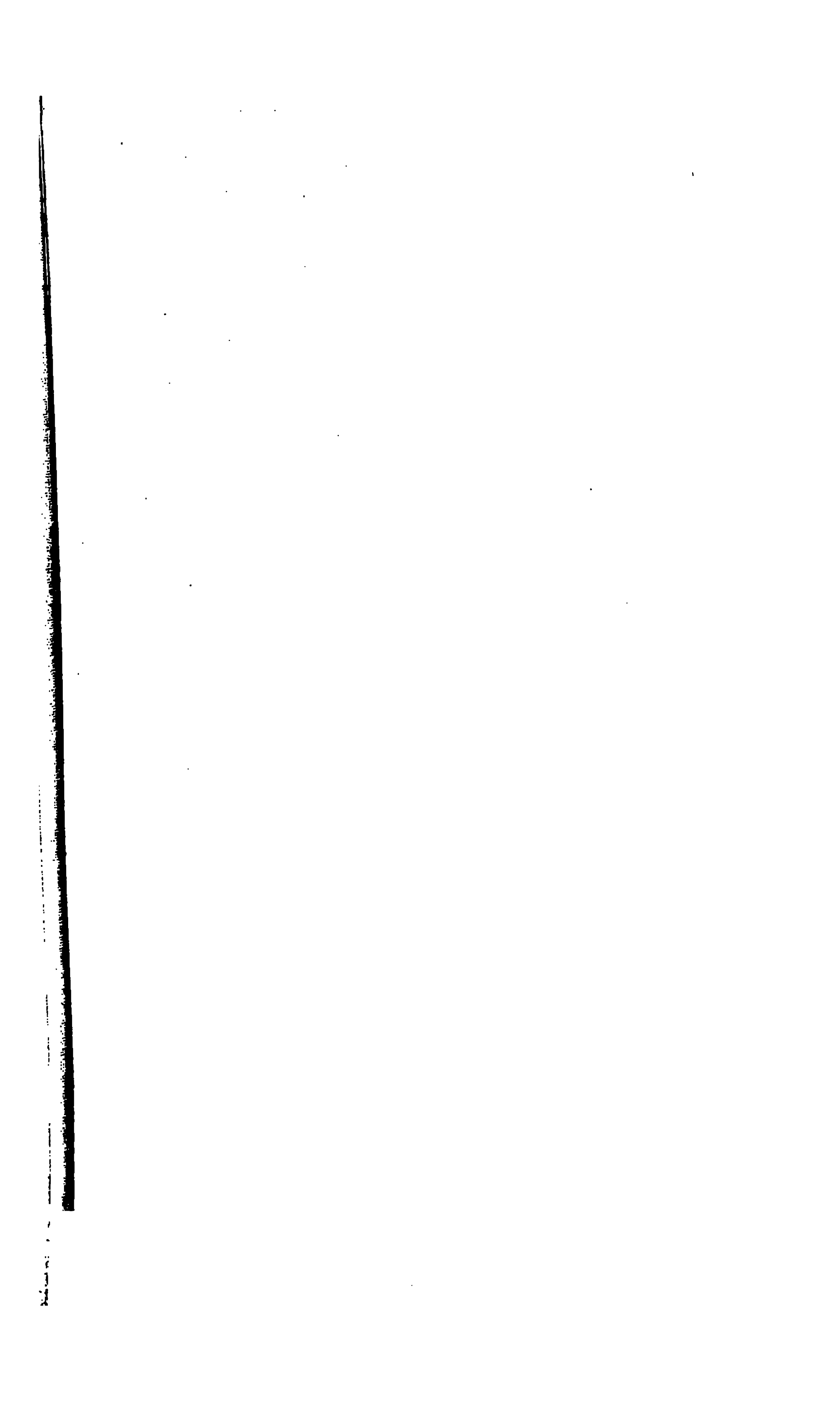














Über den

Ursprung der Elektrizität

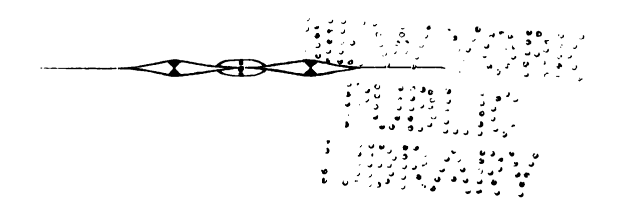
und ihre

unmittelbare Wirkungsweise

von

Dr. med. H. J. B. Wolff.

Mit 150 in den Text gedruckten Abbildungen.



Leipzig-Reudnitz
Druck und Verlag von August Hoffmann
1900.

—

Vorrede.

Bei mikrochemischen Untersuchungen über die Ernährung der Pflanzen beobachtete ich im Sommer 1888 unter der Lupe, daß ein Tropfen Salpetersäure auf einem Objektträger einen neben ihn hingesetzten ebenso großen oder sogar viel größeren Wassertropfen nach kaum einer Viertelminute plötzlich an sich riß und verschlang.

Diese gewaltige Anziehung konnte nur eine elektrische sein und war die Beobachtung zu merkwürdig als daß sie fallen gelassen werden durfte. Allerdings glaubte bereits Gilbert, wie Priestley in seiner Geschichte der Elektrizität mitteilt, daß, wenn zwei sich berührende Wassertropfen mit Gewalt zusammenlaufen, Elektrizität im Spiele sei; allein mein Wasser- und Säuretropfen waren, wie sich schon mit bloßen Augen sehen ließ, vorher durchaus nicht in Berührung, sondern erst nachdem sie eine Zeit lang völlig getrennt neben einander gelegen hatten, schoß plötzlich die dem Säuretropfen zugewandte Hälfte des Wassertropfens auf jenen zu und stürzte sich samt seiner anderen Hälfte in ihn hinein. Nicht imstande über diesen sonderbaren Vorgang in der mir zugänglichen Litteratur etwas weiteres zu finden, entschloß ich mich elektrische Studien zu machen und zwar auf eigene Hand, weil ich niemanden mit meinen Ideen belästigen wollte. Hierbei verfuhr ich so objektiv als möglich, entschlug mich der hergebrachten Theorieen und ging vom Anfange an darauf aus mit feineren Mitteln feiner zu beobachten.

Zunächst zeigte sich, daß die merkwürdige Anziehung des Wassertropfens seitens der Salpetersäure weit eher und kräftiger vor sich ging, wenn das Objektglas etwas warm war. Daher vermutete ich, daß die mehr oder weniger rasch erfolgende Erwärmung der Salpetersäure durch ihre Vermischung mit den von dem Wassertropfen aufsteigenden Dämpfen, wenn nicht die einzige, so doch eine wesentliche Ursache der Elektrizitätserregung sei; und dies umsomehr, als ja bei der Reibung starke, ferner bei der Entwicklung der galvanischen Elektrizität im Ele-

mente, sowie in der Voltaschen Säule ebenfalls Erwärmung stattfindet, und endlich, weil gewisse hochwichtige elektrische Erscheinungen, die thermoelektrischen, nur durch direkt zugeführte schnelle, nach aufwärts oder nach abwärts gerichtete Temperaturänderungen zu stande kommen. Dementsprechend zeigten auch andere flüchtige Säuren, bei deren Vermischung mit Wasser sich Wärme entwickelt, die Salz-, die Essig-, die Ameisensäure dieselbe Anziehung, nur in verschiedener Stärke, und haben wir also in der bloßen Nebeneinanderstellung von Wasser und Salpetersäure, Salzsäure und dergl. ein galvanisches oder elektrisches Element vor uns, eine Anordnung, die, so außerordentlich einfach sie ist, dennoch alles zur Selbstentwicklung von Elektrizität Erforderliche besitzen muß.

Allein nicht nur eine so großartige Anziehung, sondern auch eine kaum weniger mächtige Abstoßung läßt sich, wie ich Ende 1890 bei der mikroskopischen Untersuchung, wie große Kälte auf meine Tropfen einwirkte, fand, unter der Lupe wahrnehmen, und zwar Abstoßung nicht blos kleiner fester Körper, sondern sogar eines ganzen, auf den Objektträger gesetzten Salpeter-, Salz- oder Essigsäuretropfens, so daß derselbe auf seiner Unterlage von weitem überallhin, wie durch den geriebenen Glas- oder Harzstab das gleichnamig geladene Pendel, fortbewegt werden kann. Diese Abstoßung erfolgt nämlich dadurch, daß gegen den Tropfen von der einen Seite her ein plötzlich sehr kalt werdender Gegenstand, ohne jenen zu berühren, möglichst nahe heranbewegt wird, indem man zum Beispiel Schwefeläther auf einem Malerpinsel verdunsten läßt und ihn alsdann dem Salpetersäuretropfen unter der Lupe in der angegebenen Weise nähert. Die beiden in derselben Richtung sich bewegenden Körper müssen also gleichnamig, aber verschieden stark elektrisch geworden, der Pinsel der stärker und der Säuretropfen der schwächer elektrische sein. Jedenfalls spielte hierbei die Kälteentwicklung durch die Verdampfung der im Pinsel befindlichen Flüssigkeit die Hauptrolle; denn seine Abkühlung ist so groß, daß der Äther auf ihm schon nach einer bis zwei Minuten gefriert.

Als mir nun mit der Zeit ein äußerst empfindliches Pendel von echtem Blattgolde und Schellack herzustellen gelungen war, wurde ich im Laufe von elektrischen Versuchen, die kurz vor Weihnachten 1893 bei Lampenlichte geschahen, wiederholt dadurch überrascht, daß dasselbe in der Nähe der Lampe sich nicht völlig ableiten ließ, ja daß ein zum Beispiel unmittelbar vor dem Anbrennen der letzteren absolut unelektrisches Pendel, nachdem jene einige Minuten gebrannt hatte, gerade dadurch elektrisch ward, daß ich es, etwa mit einem Drahte, wie zum Zwecke der Ableitung berührte. Auch daran konnte nur die verhältnismäßig rasch zunehmende Erwärmung, die von der Lampe ausging, schuld sein; denn wenn ich mit dem Pendel von ihr fortging, so war es durch dieselbe Berührung leicht unelektrisch zu machen. Da nun ein von einem elektrischen Gegenstand bestrahltes und kaum erst eine Spur angezogenes Goldschaumpendel von dem Augenblicke an, wo man es ableitend berührt, erstens ungemein heftig zu demselben hingerissen, zweitens bei einer Entfernung von jenem, wo das gewöhnliche Goldblattelektroskop sich zu rühren aufhört, noch stark angezogen, und drittens bei einem Abstande, der fast noch einmal so groß ist als der letztgenannte, immer noch deutlich geladen wird, mithin außerordentlich fein reagiert: So lag im Lampenscheine selber die Elektrizitätsquelle, deren Wirkung dadurch hochgradig verstärkt worden war, daß dem

beschienenen und isolierten Goldblättchen ein abgeleiteter Leiter, den zugleich die Hand und die Lampe erwärmte, bis zur Berührung genähert ward.

Demnach machte ich mein Pendel auf die allereinfachste Weise zu einem Mikrokondensator, der mit entgegengesetztem Zeichen antwortete; denn die in hohem Grade verstärkte, weil zugleich die Quelle verstärkende, folglich kondensierend wirkende und unmittelbar auf das an sich schon ungemein empfindliche Pendel übertragene Influenzelektrizität ist es, wodurch sich Elektrizitätsgrade, deren Nachweis ihrer Schwäche wegen bisher unmöglich war, in so hohem Maße kräftigen lassen, daß sie nicht nur klar, sondern oft, wie zum Beispiel in Hohlräumen, unglaublich stark zu Tage kommen und die Untersuchung derselben gleichsam eine mikroskopische wird.

So ausgerüstet konnte ich nun mit Aussicht auf Erfolg jene Flüssigkeiten prüfen, bei deren Verdunstung auf dem Objektglase so ungeheuer große Anziehung oder Abstoßung zu beobachten waren. Ich ließ daher verdünnte Salpetersäure, Schwefeläther, Chloroform, ätherische Öle und andere flüchtige Stoffe auf isoliert schwebender Unterlage verdampfen und wandte jetzt meinen Pendel- oder Mikrokondensator an. Das Ergebnis entsprach der Erwartung: Es zeigte sich wirklich überall Elektrizität, die aber sofort verschwand oder ihr Zeichen wechselte, sowie die betr. Flüssigkeiten von weitem wärmer oder kälter wurden.

Das alles schien mir darauf hinzudeuten, daß in der Luft etwas sein müsse, wodurch die Elektrizität bei schnell steigender oder rasch fallender Temperatur entstehe oder doch verstärkt würde, und wonach ja schon wiederholt, obgleich vergeblich, gesucht worden ist.

Wieder aus pflanzenphysiologischen Gründen hatte ich nun länger als ein Jahr mikroskopische Untersuchungen der atmosphärischen Niederschläge methodisch vorgenommen, konsequent täglich viele Male ausgeführt und dabei bereits bis zu Anfange des Jahres 1890 gefunden, daß Sommer und Winter, Tag und Nacht, bald mehr bald weniger reichlich kleine bis äußerst kleine Krystalle bez. Krystalloide oder Globuliten niederfallen, welche zweifellos in den Wassertröpfchen, die ja in so sehr vielen und weit verbreiteten Luftschichten und Luftgebieten stets und meist in unermeßlicher Menge enthalten sind, aufgelöst gewesen sein mußten, vorzugsweise, wie die mikrochemische Untersuchung ergab, aus Gips und Kochsalz bestehen und offenbar größtenteils aus dem Meere stammen.

Nach dieser Entdeckung, wenn ich so sagen darf, lag die Vermutung nahe, daß die atmosphärischen Krystalle infolge der mannigfaltigen und unaufhörlichen, hier größeren dort kleineren Temperaturschwankungen der Luft unter sonst günstigen Bedingungen mehr oder weniger elektrisch werden und, zumal da diese feinen, sich sehr rasch, ja zufolge dessen, was man auf dem Objektträger sieht, gewiß oft blitzschnell erneuernden Gebilde überall, also auch an allen unsern Instrumenten, Materialien u. s. w. kleben bleiben, zwar nicht die eigentlichen Quellen, aber doch gewiß **Verstärkungskörper der Elektrizität sind.** Nicht die Quellen, sondern alles scheint **Berzelius** Auffassung zu bestätigen, **daß die Elektrizität eine der Materie immanente Eigentümlichkeit und gleich dieser selber nebst der mit ihr unzertrennlich verbundenen bald größeren bald geringeren Wärme überall vorhanden ist.** Aber eben durch die

Temperaturwechsel der atmosphärischen Salz- und Wasserkrystalle kann sie zeitweilig und örtlich zunächst bis zur Wahrnehmbarkeit, dann nach und nach bis zu gewaltiger Leistungsfähigkeit verstärkt und schließlich bis zur furchtbarsten Naturerscheinung gesteigert werden.

Eine wesentliche Stütze für die Annahme, daß die atmosphärischen Krystalle elektrische Verstärkungskörper seien, lieferte die weitere, schon angedeutete Beobachtung, daß die Elektrizität, die bei größerer oder geringerer, aber schnell vor sich gehender Erwärmung oder Abkühlung der Luft bez. eines in ihr befindlichen isolierten Leiters auftrat, ihr Zeichen in ganz ähnlicher Weise wechselte, wie es die bei fortgesetzter rascher Temperaturänderung erscheinende Elektrizität der makroskopisch großen Krystalle thut.

Am 23. Dezember 1893 entdeckte ich nämlich, daß das nahe an den oberen Teil der Glasglocke einer soeben angebrannten Lampe, also in die sich schleunig erwärmende Luft gehaltene Goldschaumpendel, wenn ich es während dessen mit einem nicht isolierten Leiter berührt hatte, negativ, dem immer viel kühleren unteren Glockenrande gegenüber aber positiv, und zwischen den beiden Gegenden unelektrisch war. Daran, daß diese Elektrizität von Reibung der Kleider, der Schuhe und dergl. herrühren möchte, konnte also ganz und gar nicht gedacht werden. Zu meiner großen Freude zeigte sich nun sehr bald, daß das Pendel, nachdem ich bei Tageslichte und ohne Lampe im ungeheizten, etwa nur 12° warmen Zimmer 1½—2 Minuten ruhig davorgesessen und so die Luft um mich und die Gegenstände in meiner Nähe, mithin auch das schwebende Goldblättchen etwas erwärmt hatte, gleichfalls elektrisch, zunächst aber positiv, nach ungefähr fünf Minuten unelektrisch und hierauf negativ wurde. Ferner ward beobachtet, daß beliebige Gegenstände, z. B. ein Rock, ein Buch, ein isoliertes Stück Metall, wenn sie im Winter plötzlich aus der Kälte in das warme Zimmer gebracht wurden, das sie berührende und zugleich von mir leitend berührte Pendel umgekehrt zuerst negativ und nachher also nachdem sie nicht mehr so kalt waren, positiv machten. Endlich ergab sich, daß in der kalten Jahreszeit, während eingeheizt und die Stube immer wärmer wurde, das abgeleitete Pendel in der Nähe des Fensters, wo das Thermometer oft kaum 10° meldete, positiv, ungefähr in der Mitte des Raumes unelektrisch, gegen den strahlenden Ofen hin negativ, noch näher bei demselben wieder unelektrisch bez. positiv und schließlich ganz in seiner Nähe, wo schon über 30° Wärme waren, wieder negativ wurde, was für die das Pendelblättchen unmittelbar, d. h. vor der Berührung mit dem Drahte ladende Elektrizität selbstverständlich immer mit entgegengesetztem Zeichen zu verstehen ist, und aus der Kälte nach der Wärme hin die Reihe

$$- \; 0 + 0 - 0 +$$

lieferte.

Aus der Möglichkeit sowohl das bloße Pendelblättchen als auch einen vieltausendmal größeren isolierten Leiter durch die schwachen Wärmestrahlen, die von uns ausgehen, wenn wir im Winter fast regungslos in einem ungeheizten Zimmer sitzen, zu elektrisieren, folgt aber, daß es sich wenigstens bei den schwachen Elektrizitätserregungen nur um sehr geringe Temperaturänderungen handeln könne, ein Schluß, der mit so vielen Vorkommnissen in der höheren Elektrik, wo

kleine Ursachen, die offenbar blos auf scheinbar ganz unbedeutenden, allerdings sich sehr oft hintereinander wiederholenden Temperaturänderungen beruhen, große Wirkungen hervorbringen, durchaus im Einklange zu stehen schien. Daher vermutete ich, daß auch die Elektrizitätserregung beim Voltaschen Fundamentalversuche, woraus der Galvanismus sich zu so staunenswerter Größe entwickelte, in erster Linie von der dabei — ich darf wohl sagen bisher unbewußt — verursachten plötzlichen Erwärmung, Abkühlung und Wiedererwärmung der Metallplatten, in zweiter Linie aber von der jedenfalls gerade unter den vorliegenden Umständen sehr verschiedenen Erwärmbarkeit des Zinks und Kupfers abhängen möchte. Und in der That fand sich sehr bald, daß im kalten Zimmer das Zink bei fortgesetzter Einwirkung der nur von meinem eigenen Körper herrührenden Wärme eher und stärker elektrisch wurde als das Kupfer, daß also nicht nur in der Wärmesteigerung der Platten die Ursache ihrer Elektrizität zu suchen sei, sondern daß auch das Zink, das in einer gewissen Zeit zuerst Elektrizität zeigte, darum wärmer als das Kupfer geworden sein mußte, weil das letztere ebenso stark elektrisch ward wie das erstere, wenn es, das Kupfer, dieselbe Wärme nur längere Zeit als das Zink zugeführt bekam. **Die Art der Elektrizität, die zuerst auftrat, war bei beiden Metallen dieselbe, nämlich Negativität;** bevor sie jedoch beim Kupfer ihr Maximum erreichte, verschwand sie beim Zink schon wieder und hatte sich, während das Kupfer unverändert negativ blieb, bereits in Positivität verwandelt. Die Sache verhielt sich also ganz ähnlich wie bei der brennenden Lampe. Aber auch durch schnelle Abkühlung entstand bei den beiden Metallen mindestens ebenso starke Elektrizität wie durch rasche Erwärmung, und blieb die Entwicklung der Abkühlungselektrizität beim Kupfer noch viel mehr hinter jener des Zinks, nämlich derart zurück, daß das Kupfer bei derselben Temperaturerniedrigung nur negativ, das Zink aber schon positiv wurde, und daß ein größerer Temperaturabfall erforderlich war, um auch das Kupfer positiv zu machen.

So erhalten wir den Effekt des Voltaschen Grundversuchs, + Zn — Cu, ohne daß die Platten einander berührt hatten, wenn sie nur auf isolierenden Füßen im kühlen Zimmer ruhig einige Minuten vor uns stehen, weil sie von unseren Wärmestrahlen verschieden stark erwärmt werden und die ursprüngliche Negativität bei dem leichter erwärmbaren Zink alsbald in Positivität übergeht.

An diesen neuen Grundversuch schlossen sich nun sehr ausgedehnte Untersuchungen, und aus ihnen ging, es war Anfang Juni 1894, vor allen Dingen hervor, daß das, was wir positiv und negativ nennen, Erscheinungsformen sind, die sich unter günstigen Umständen fortgesetzt wiederholen — schon die bekannten Gürtel von abwechselnd positiver und negativer Elektrizität an einer einem stark elektrischen Körper gegenüber gehaltenen Siegellackstange weisen darauf hin — Energieäußerungen, die in derselben oder in umgekehrter Reihenfolge örtlich oder zeitlich mehrmals nach einander auftreten, nämlich im Laufe der rasch höher und niedrig werdenden Temperatur verschwinden und nach schneller, abermals stärkerer Erwärmung oder tieferer Abkühlung und Wiedererwärmung immer wieder von neuem erscheinen, indem sich Positivität aus

Negativität, und Negativität aus Positivität sowohl, bildlich gesprochen, nach oben als auch nach unten hin entwickeln. Daher ist jede positive oder negative Elektrizität, die sich irgendwo, mit oder ohne unser Zuthun zeigt, nur ein Teil einer Reihe, deren Glieder sämtlich aus der Folge o + o — oder o — o + zusammengesetzt sind. Zwar gleichen sich die gleichnamigen Elektrizitäten dieser Kette funktionell vollkommen; allein sie haben auf der Leiter der ewig wechselnden Temperatur verschiedenen Rang. Im allgemeinen kann man sagen: **Die Elektrizität verhält sich wie ein schwingendes, von einem Ende bis zum andern immer wärmer bez. kälter werdendes, wer weiß wie langes Seil, an dessen, je nach der Spannung desselben, mehr oder weniger zahlreichen Knotenpunkten Nullelektrizität herrscht.**

Was wir z. B. bei der in gewöhnlicher Weise vorgenommenen Reibung des Harz- und Glasstabes, oder was wir bei der nach Volta's Vorschrift ausgeführten Behandlung der Kupfer- und Zinkplatte bekommen, das ist, thermisch gedacht, einfach die am höchsten liegende Negativität und Positivität, die mittelst der üblichen Manipulationen meist sofort erreicht, indessen durch ungewöhnliche Wärmesteigerung leicht überboten und in Elektrizität mit entgegengesetztem Zeichen übergeführt werden kann. So wissen wir ja lange, daß der Glasstab negativ und der Harzstab positiv wird, wenn man den ersteren vor der Reibung, die zu diesem Zwecke nur schwach sein darf, eine Zeit lang über die Spiritusflamme hält, den letzteren, den Harzstab, aber mit etwas, das sich viel leichter als Wolle erwärmt, nämlich mit Amalgam reibt; die Ursache des Zeichenwechsels ist aber in beiden Fällen nichts anderes, als daß durch die Reibung unter den letztgenannten Umständen eine stärkere Erwärmung als gewöhnlich zustande kommt. Und wenn das erwärmte Ende des Glasstabes nach stärkerer Reibung nicht mehr negativ, sondern positiv wird, so ist diese Elektrizität selbstverständlich das Produkt einer noch höheren Erwärmung. Mithin hatte schon Heintz, dem wir diese Beobachtungen am Glasstabe verdanken, durch mehr und mehr gesteigerte Temperatur die Elektrizitätsfolge o + o — o + in kurzer Zeit an einem und demselben Körper hervorgebracht. Andererseits beruht die bekannte Thatsache, daß man aus denselben verschiedenen zwei Metallen Ketten bauen kann, die je nach der benutzten Flüssigkeit entgegengesetzte Pole haben, nur auf der größeren oder geringeren Erwärmung der festen Teile durch die Säure oder dergleichen; und wenn, wie schon oben bemerkt, die zum Fundamentalversuche dienenden Platten ungewöhnlich erwärmt oder abgekühlt werden, so erhält man gleichfalls den umgekehrten Effekt, also + Cu — Zn, alles aus demselben Grunde, daß jeder Körper, der bei einer gewissen Temperatursteigerung z. B. positiv ist, unfehlbar negativ wird, wenn man ihn stärker erwärmt, und wieder positiv u. s. f., wenn die Erwärmung in dem erforderlichen Grade zunimmt. Bei den immer tiefer rangierenden Elektrizitäten aber läßt sich der Zeichenwechsel so leicht hervorrufen, daß z. B. eine Volta'sche Kupferplatte, die im kalten Zimmer 50 cm vom Experimentierenden entfernt auf dem Tische steht und durch die ihr von jenem zugestrahlte Wärme rasch positiv wird, bei nur 35 cm Abstand negativ, bei 25 cm wieder positiv und bei 15 cm nochmals negativ ist — natürlich mittelst Mikrokondensator. Und offenbar sind es die noch tiefer liegenden, also die durch plötzliche Steigerungen sehr niedriger Temperaturen entstehenden

Elektrizitäten, die mit ihren gewaltigen Wirkungen in größeren Höhen über der Erdoberfläche und im Winter, vorzugsweise aber gegen die kalten Zonen hin und innerhalb derselben sich abspielen. Ja auch viele von den merkwürdigen Erscheinungen, die man an flüssiger oder gar gefrorener Luft beobachtete, dürften auf Elektrizität zu beziehen sein, die sich bei schnellen Änderungen in diesen so furchtbar tiefen Temperaturen entwickelt.

Erst wenn man das elektrische Umwandlungsgesetz, das soeben skizziert wurde, kennt, ist es möglich sich zurecht zu finden in der Unmasse der unter scheinbar außerordentlich verschiedenen Bedingungen gleichsam auf uns einstürmenden Ereignisse. Der Ausdruck klingt stark; doch wird man nicht fertig mit Experimentieren und muß froh sein in dem obigen Gesetze einen Führer gefunden zu haben, der uns das Dickicht gangbar macht.

Allein nicht bloß auffallende, sondern auch versteckte, nichts destoweniger aber ganz allgemein verbreitete Kraftäußerungen können wir mit Hilfe dieses Pfadfinders verstehen. Denn es läßt sich zeigen, daß auch die sogenannten Molekularkräfte auf Elektrizität beruhen; ferner, daß die chemischen Erscheinungen, wie schon Berzelius und Davy annahmen, nicht die Ursache, sondern die Wirkung der Elektrizität sind, und endlich, daß Chemismus und Elektrizität eine Art Kreisprozeß bilden, in welchem die Wirkung, wie bei dem so unendlich wichtigen Vorgange der elektrischen Verstärkung, und in der belebten Welt fast überall, immer wieder zur Ursache wird. Vor allen Dingen aber löste sich 1. das Rätsel der Influenz mit ihrer Doppelelektrizität sehr einfach auf, nämlich dadurch, daß der influenzierte Gegenstand infolge der elektrischen Bestrahlung selber an seinem der Quelle zugewandten Ende mehr als an dem von ihr abgekehrten erwärmt wird, am ersteren aber natürlich nur bei sehr großer Annäherung ziemlich ebenso warm werden kann, wie jene, die Quelle; und 2. fand die Voltasche Spannungsreihe ihre Erklärung in der wohlverbürgten Thatsache, daß alle Körper verschiedene Wärmekapazität haben, dieselbe jedoch bei je zweien von ihnen unter sonst gleichen Bedingungen ein konstantes Verhältnis bildet.

Schließlich vermögen wir im Hinblick auf das Umwandlungsgesetz uns auch ein Bild zu machen von den allen elektrischen Vorgängen sicherlich zu Grunde liegenden Wellenbewegungen, durch deren Zusammenwirken die drei auffälligsten Erscheinungen der Elektrizität, die Anziehung, die Abstoßung und der Funke entstehen. Genaueres läßt sich darüber erst dann sagen, wenn die Thatsachen geprüft und bestätigt worden sind, die hier in Menge aufgeführt werden und größtenteils neu sein dürften.

Diese nur auf die niedere Elektrik sich beziehenden Arbeiten müßten freilich viel weiter und namentlich bis in die höhere hinein, wo besonders der Magnetismus an sich und in seinen Beziehungen zur Elektrizität zu untersuchen wäre, fortgesetzt werden; indessen mußte ich mir das schon aus dem Grunde versagen, weil ich nicht mehr hoffen darf, mich ihnen nochmals viele Jahre lang ununterbrochen hingeben zu können. Physiker von Fach werden dies jedoch, vorausgesetzt, daß ihnen die nötige Zeit zu Gebote steht, viel besser ausführen und nach Befinden verwerten können.

„Was uns fehlt, sind neue Methoden“ sagte Viktor Meyer in einem 1889 auf der Naturforscherversammlung zu Heidelberg gehaltenen Vor-

trage; dies Wort gilt wohl auch heute noch in vielfacher Beziehung, und sollte das vorliegende Werkchen etwas Brauchbares enthalten, so dürfte es die eine oder andere Untersuchungsmethode sein. Leicht ist es aber möglich, daß nicht alles richtig angedeutet worden ist.

Endlich verfehle ich nicht den Herren Bibliothekaren der Königlichen öffentlichen Bibliothek zu Dresden, die mir jederzeit ihre gütige Unterstützung zuteil werden ließen, meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Blasewitz, den 24. Mai 1899.

Dr. med. **Wolff.**

Inhalts-Verzeichnis.

Einleitung in die mikroskopische Elektrochemie.

Einleitung.

Sollen die Ursachen der Elektrizität ergründet werden, so hat man vor allem denjenigen Stoff zu untersuchen, in welchem sie beständig und in größter Verbreitung angetroffen wird, nämlich die atmosphärische Luft.

Wo aber Luft ist, ist auch Wasser, und in diesem finden sich bekanntlich verschiedene Salze aufgelöst, unter denen das Chlornatrium die erste Stelle einnimmt. Allein in dem Maße, als die Luft trocken oder feucht ist, enthält sie von diesen Salzen mehr oder weniger im festen oder beinahe festen Zustande, also auskrystallisiert oder doch in so konzentrierter Lösung, daß die Krystallisation bei der ersten günstigen Gelegenheit sofort erfolgt. Mithin müssen die von dem vergasenden Wasser übrig bleibenden festgewordenen Salze in der Luft vorhanden sein und, wenn diese hinreichend still und bis herab trocken genug ist, wenigstens zum Teil zur Erde hernieder fallen.

Die Krystallform dieser atmosphärischen Salze ist aber meist die unvollkommenste, die es giebt, d. h. sie bilden fast nur **Globuliten**, also mikroskopisch kleine Kügelchen oder länglich runde Körper, die gewöhnlich so klein sind, daß man sie unter dem Mikroskope erst bei 200- bis 300-facher Vergrößerung, schiefer Beleuchtung und ohne Deckglas zu erkennen vermag, dann immer kleiner auftreten, allmählich die Grenze des deutlich Sichtbaren erreichen, also einen Durchmesser von kaum $^1/_{5000}$ mm haben und vermutlich noch viel kleiner bleiben können.

Die Art und Weise, diese Gebilde auf den Objektträger zu bekommen, ist eine doppelte: Entweder man läßt sie ohne weiteres darauf niederfallen, oder man löst sie während ihres Niederganges und alsbald nach demselben in den Tröpfchen auf, womit jener beschlägt, wenn er bei gewöhnlicher Zimmerwärme behaucht wird.

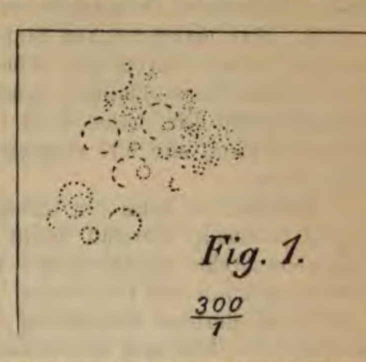
In beiden Fällen kommt zunächst alles auf die Beschaffenheit des Objektträgers an, und um zu zeigen, daß ich in dieser Beziehung so vorsichtig wie möglich zu Werke ging, sei das Folgende, das freilich für Mikroskopiker überflüssig ist, in Kürze bemerkt.

Von Objektträgern der besten Art werden, nachdem sie geputzt sind, diejenigen ausgewählt, welche bei der mikroskopischen Besichtigung mittelst schiefer

Beleuchtung die wenigsten Fehler, also so wenig wie möglich Gegenständliches erkennen lassen; doch schaden kleine Ritze oder Linien nichts. Hierauf folgt wiederholtes Waschen der Gläser in warmem destillierten Wasser. Das Abtrocknen und Abreiben muß aber mit ganz besonderer Sorgfalt geschehen, nämlich nicht mit einem Leder, weil dieses oft kleine Teilchen, die vom Gerben herrühren, losläßt; sondern mit Tüchern von feinster Leinewand, die, nachdem sie gewaschen, in destilliertem Wasser ausgespült und wie die besten Taschentücher geplättet wurden, sogleich in ein paar Bogen reinen Kanzleipapieres zu legen und in engem Verschlusse zu verwahren sind. Ein solches Leinentuch darf indessen, auch wenn man noch kein Unthätchen an ihm sieht, nicht länger als höchstens zwei Tage zum Putzen verwendet werden, weil es doch etwas staubig geworden sein und auf das Objektglas Dinge übertragen kann, die das letztere aus der Luft erst nach tagelanger Exposition empfangen haben würde. Endlich sind die zu dem in Rede stehenden Zwecke bestimmten Träger in ein enges, luftdicht verschließbares Käftchen einzustellen und unmittelbar vor dem Gebrauche von neuem in der angegebenen Weise zu reinigen. Denn es dauert nicht lange, und auch die aufs Beste verwahrten Gläser haben Niederschläge bekommen; diese aber wollen wir zuvörderst nicht aus der Zimmerluft haben.

1. Die Globulitenniederschläge im Freien. Auf einem 1 m hohen, im Garten möglichst frei stehenden und mit einem Thermometer versehenen Tische, dessen Fläche täglich abgewaschen wurde und zugleich zur Beobachtung des Thaues und anderer mit bloßen Augen sichtbarer Niederschläge diente, wurden zwei oder drei in der angegebenen Weise vorbereiteter Objektträger allabendlich, oder auch am frühen Morgen ausgelegt, nachdem sie auf einer tellerartigen Platte an ihren Ort getragen worden waren, damit sie unterwegs bei niedriger Temperatur nicht beschlügen. Wenn sie abends ausgelegt worden waren, blieben die Gläser in der Regel bis zum andern Morgen draußen und holte ich sie dann mit derselben Vorsicht herein, brachte sie jedoch im Winter oder überhaupt, wenn es sehr kalt war, zunächst in einen ungeheizten Raum. Indessen ließ ich das eine oft nur eine viertel, das zweite eine halbe und das dritte eine ganze Stunde oder jedes noch kürzere Zeit ausliegen, um die von der Expositionsdauer abhängenden Unterschiede der Niederschläge kennen zu lernen. Geschah die Auslage aber am Morgen und bekamen wir Sonnenschein, so blieb eines von den Gläsern meist nur ein paar, ein anderes vielleicht nur fünf und das dritte etwa zehn Minuten auf dem Tische, weil die Erfahrung gezeigt hatte, daß größere Globuliten bei diesem Wetter anfangs, wenn eben die Aufklärung begann, noch in bedeutender, alsbald aber in geringerer Menge fielen und bei zunehmender Temperatur immer kleiner und seltener wurden. Daher mußte ich die Objektträger, um die Niederschläge in den späteren Vormittagsstunden oder am Nachmittage zu bekommen, stundenlang liegen lassen. Gegen Abend aber vermehrten sich die Globuliten je nach der Zunahme der relativen Feuchtigkeit, und wurde es gar nebelig, so sah man unter dem Mikroskope nach kurzer Zeit auf den Gläsern kleine Ringe oder halbe Ringe von Globuliten als die Salze, welche aus den Nebeltröpfchen auskrystallisiert waren

(Fig. 1). Hieraus ergiebt sich die Entstehungsgeschichte der einzeln fallenden Globuliten von selber und ist nur hinzuzufügen, daß diese, wie die erst auf dem Glase auskrystallisierten, auf demselben festkleben, also entweder noch nicht ganz trocken gewesen oder nach dem Auftreffen wieder feucht geworden sind, weil jedenfalls einer ihrer Bestandteile hygroskopisch ist.


Fig. 1. $\frac{300}{1}$

Da sich infolgedessen die gefallenen Globuliten leicht wieder auflösen, so besitzen wir in ihrer Behauchung ein sehr bequemes Mittel, um uns zu vergewissern, ob eine Gruppe von allerkleinsten Pünktchen, die auf einem, vielleicht eine Stunde ausgelegt gewesenen Glase sich bei schiefer Beleuchtung erkennen läßt, wirklich das ist, wofür wir sie hielten. Denn sind die z. B. nur 0,1—0,2 μ großen Punkte (1 μ = 0,001 mm) kleine Primitivkrystalle der atmosphärischen Salze, so gelingt es schon nach ein paar Exspirien, wovon sie, während man sie im Auge behält, getroffen werden, in einem Hauchtropfen wieder aufzulösen. Aber nicht blos das, sondern, sowie der letztere durch Verdunstung wieder verschwindet, sieht man an seiner Stelle, oder genauer an einem Punkte derselben ein einziges, aber viel größeres, nämlich etwa 0,5 μ großes rundliches Körnchen liegen, das durch nochmalige Behauchungen wieder aufgelöst werden kann, nach Verdampfung des Hauchtropfens abermals, jedoch oft in ein wenig anderer Gestalt oder Lage erscheint und so in infinitum weiter.

Lag nun ein Objektträger die ganze Nacht oder stundenlang am Morgen bez. Abende aus, so bekommt man, wenn es nicht windig war, oder gar naß niederging, von dem erfolgten Globulitenfalle das vollkommenste, indessen zugleich auch ein so vielfach zusammengesetztes Bild, daß wohl niemand imstande ist, es naturgetreu nachzuzeichnen. Das schadet aber nichts, denn wir haben einen Ersatz dafür: Jedermann kennt die wundervollen Photographieen des einen oder anderen Punktes der Milchstraße, die sog. Sternphotographieen, und fast zum Verwechseln ähnlich sehen unsere so lange und in so günstiger Zeit ausgelegten Objektträger im Dunkelfelde aus, falls bezüglich der helleren Sterne nicht Ueberexposition stattfand.

An den einzelnen, wenn auch bis 1 μ großen atmosphärischen Globuliten kann man freilich, wie an allen solchen Primitivkrystallen, nichts Besonderes sehen: bemerkenswert ist jedoch, daß namentlich die größten von ihnen, nämlich jene, deren Durchmesser 1—2 μ beträgt, herrlich in den Regenbogenfarben glänzen, wenn über das aufs tiefste verdunkelte Feld direktes Sonnenlicht so schief wie möglich fällt, daß sie also diejenigen Staubteilchen sind, die vermöge ihrer regelmäßigen Form und Oberfläche sowohl an der Wärme als auch an der Intensität des Lichtes der Atmosphäre wesentlichen Anteil haben. Als Krystalle werden sie aber durch Erwärmung oder Abkühlung oder durch die schnelle und wiederholte Aufeinander-

folge beider elektrisch werden und in anbetracht ihrer unabsehbar großen Menge dazuführen, daß die Wirkung dieser Millionen, ja unzählig vielen Elektrizitätserregungen bisweilen, nämlich im Gewitter, so ungeheuer stark ist.

2. Die während der Behauchung sich im Hauchwasser auflösenden atmosphärischen Globuliten. Schweben wirklich überall in der Luft primitive Kryställchen gewisser Salze, so müssen diese Substanzen auch nachweisbar sein, wenn sie in kleine Wassertropfen von einem Luftstrome getrieben werden, also viel reichlicher als bei ruhiger Luft auf die gegebene Fläche fallen.

Nachdem die durch den schwächsten Hauch auf einem genügend kalten und mit peinlichster Sorgfalt soeben geputzten Objektträger entstandenen, kaum $^7/_{10000}$ mm großen Hauchtröpfchen durch etwas stärkere Behauchung vielfach zusammen geflossen und bis zu etwa $^1/_{1000}$ mm (1 μ) gewachsen sind, schwellen sie bei noch stärkerer Behauchung schon um das Drei- bis Fünffache an. Wird nun das Glas nach Verdunstung der letzteren wieder behaucht, so überrascht es, daß die neuen Tropfen alle ganz genau die Oerter der alten, die soeben verschwanden, einnehmen; dies rührt aber davon her, daß von jedem der verdunsteten Tropfen bereits etwas von einem Salze oder Salzgemenge, das darin gelöst war, zurückblieb. Denn verstärkt man die Behauchung immer noch mehr und zwar derart, daß wiederum viele von den benachbarten Tropfen zusammenfließen und dadurch noch größere entstehen, so läßt sich nach Verdampfung irgend eines derselben in seinem Bereiche schon mit 30- bis 60-facher Lupenvergrößerung und bei schiefer Beleuchtung auf einem Flecke erkennen, was vorher in dem so umfangreich gewordenen Tropfen aufgelöst war, nämlich eine verhältnismäßig große, farblose, amorphe und sehr hygroskopische Masse. Ward nun der von der Erwärmung des Glases und der Luft abhängige Zeitpunkt erreicht, wo eine weitere Verdichtung des mit dem Hauche zuströmenden Wasserdampfes nicht mehr möglich ist, so bemerkt man unter jener Vergrößerung bei an- bezw. abgehaltenem Atem*), daß die Verdunstung jedes der Riesentropfen ungleichmäßig vor sich geht; es verflacht sich nämlich immer nur zunächst ein Teil seines Randes, dann reißt derselbe alsbald ein, zieht sich zungenförmig zurück, hierauf verkleinert sich der Flüssigkeitsrest konzentrisch, hält damit einige Sekunden inne und nun verschwindet er mit einem Male. An der Stelle aber, wo das letzte Bischen Wasser lag, sieht man jetzt bei 60- bis 100-facher Vergrößerung, sorgfältig gestellter schiefer Beleuchtung und völlig unterdrücktem Atem, einen flachen, farblosen Kuchen, eine niedrige festweiche Masse liegen, die mindestens so groß ist wie ein rotes Blutkörperchen und sich unter dem Kompositum, weil man hier das Ausatmen nicht so streng zu vermeiden braucht, am bequemsten betrachten läßt. Dieser kuchenartige Rückstand bekommt nun sehr bald und

---

*) Abgehalten wird der Atem beim Arbeiten mit dem Präpariermikroskope am besten dadurch, daß man, wenn das rechte Auge beobachtet, mit dem Rücken des linken Zeigefingers das rechte Nasenloch zudrückt, weil dadurch die übrigen Finger der linken Hand zu der einen oder anderen Verrichtung frei bleiben.

dann urplötzlich eine krystallinische, nämlich kreuz und quer gefurchte Oberfläche; läßt man aber nur eine Spur von Atem zu, so ist er auch schon wieder aufgelaufen, zu einem Flüssigkeitsberge geworden, ja schon merklich früher als man den gewollten, minimalen Atemzufluß geschehen meint, hat sich der schraffierte und dadurch ganz dunkel gewordene Kuchen aufgelöst. Und wie alle Salzlösungen zeigt auch diese die Eigentümlichkeit, daß sie im Gegensatze zu einem Tropfen reinen Wassers sich bei der Behauchung auffallend erwärmt, d. h. ihre unmittelbare Umgebung dadurch ebenso wenig bethaut, wie irgend ein warmer Gegenstand, also einen leeren Ring, einen Wärmehof bekommt s. Kap. XVI und XVII.

Dieser merkwürdige Rückstand von einem der größten Tropfen ist, weil sie mittelst vielfacher und energischer Behauchung durch wiederholten Zusammenfluß unmittelbar neben einander gelegener kleinerer Tropfen entstanden, zweifellos die Summe der festen Bestandteile, welche die letzteren enthielten, und alle kamen, weil der Objektträger vor dem Versuche so gut wie möglich gereinigt worden war, zu ihrem Inhalte offenbar nur dadurch, daß verhältnismäßig große Mengen davon während der fortgesetzten Behauchung, d. h. mit dem bei jeder derselben gesetzten Luftstrome in die Hauchtropfen hineingeworfen worden waren.

Denn wenn Objektgläser, es kann am hellen Tage sein, stundenlang draußen, oder wäre es auch nur auf der Fenstersohlbank oder selbst im Zimmer offen liegen gelassen werden, so findet man darauf stets einige wasserhelle, bis weit über blutkörperchengroße, sehr hygroskopische Tropfen, die vom Hauche einen großen Wärmehof bekommen und erst durch Erwärmung, dann aber schneller als man sehen kann, fest, d. h. eine flache, aus durcheinander geschossenen Krystallnadeln bestehende Scheibe werden, die ganz ähnlich ist jener soeben beschriebenen künstlich hervorgebrachten, und im Hauche oder in kalter feuchter Luft sich sogleich ganz ebenso wieder auflöst. Andererseits jedoch kann ihnen das Feuer gar nichts anhaben. Denn als ich die brennende Spirituslampe unter den Tisch des Präpariermikroskopes setzte, hin und her schob und das Glas solange erhitzte bis es das unverwandt zusehende Auge nicht mehr aushalten konnte, so war an dem krystallinischen Kuchen nicht die geringste Veränderung zu bemerken; sowie der Objektträger aber wieder Zimmertemperatur bekommen hatte, war jener gegen den Hauch oder feuchte Luft überhaupt auch ebenso empfindlich wie vorher*). Außer diesen hygroskopischen Tröpfchen fallen im Freien aber auch noch häufig viele, meist nur unter der Lupe sichtbare, graue, bisweilen jedoch rein weiße Flocken, die, wie die Rußflocken, lose Konglomerate von äußerst kleinen Globuliten sind, im Hauchwasser sich aber schwerer auflösen als die einzeln fallenden, wovon unter 1. die Rede war, und fast immer mehr oder weniger viel feinste Quarzkörnchen enthalten. Der Unterschied zwischen den beiden bei trockenem Wetter fallen-

*) Zur mikroskopischen Feuerprobe ist, wenn man immer zusehen will, natürlich nur ein solches Präpariermikroskop zu gebrauchen, dessen Spiegel, wie Figur 52 des Zeiß'schen Kataloges vom Jahre 1889 zeigt, ganz beiseite geschoben werden kann, weil er von einem Arme mit doppeltem Gelenke getragen wird.

den Niederschlägen, den festen und den flüssigen, besteht nur darin, daß die letzteren, wie ein Zusatz von gelöstem salpetersaurem Silberoxyd unter 60- bis 100-facher Lupenvergrößerung ergiebt, viel mehr Chloride enthalten als die ersteren, während mit Chlorbarium und oxalsaurem Ammonium leicht nachweisbar ist, daß die letzteren Niederschläge zum größten Teile aus schwefelsaurem Kalk, also aus Gyps bestehen, dem aber, weil er hier verhältnismäßig leicht löslich ist, viel Kochsalz anhängen muß und, wie die Probe ergiebt, auch wirklich anhängt. Dagegen lassen sich aus den so sehr chlorhaltigen Tropfen mittelst Ammoniak und ein wenig Phosphorsalz stets die charakteristischen hemimorphen Krystalle von phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia herstellen, sodaß dieser Befund auf die Herkunft unserer atmosphärischen Salze, auf ihre Abstammung aus dem Meere, das nächst dem Chlornatrium ja so sehr viel Chlormagnesium enthält, mit Bestimmtheit hinweist. Auch der von den Hauchtropfen übrig bleibende Kuchen giebt die Reaktion auf Schwefelsäure, Kalk und Chlor, und wird demnach so, wie auseinandergesetzt wurde, auch wirklich entstanden sein.

Im Uebrigen bringen wir später (Kap. 16) einen weiteren Beweis für die Existenz atmosphärischer bis unendlich kleiner Salzglobuliten.

Demnach besitzt die Luft eine unendliche Fülle von kleinen bis unsichtbar kleinen Elektrizitätserregern, die mit ihr überall hindringen, auf alles Irdische niedersinken, teilweise wieder in Lösung gehen, dank der fortwährenden Wasserverdunstung sich unaufhörlich erneuern und die Elektrizität verstärken, die wir nicht umhin können uns wie die Materie und die Wärme als etwas, auch wo nur Aether sein sollte, überall Gegebenes vorzustellen.

Gehen die Wirkungen der Elektrizität, wie niemand mehr bezweifelt, bis ins Kleinste, so kommt es für unsern Zweck darauf an, sie noch unter Umständen nachzuweisen, wo das bisher unmöglich war. Schwache Elektrizität muß also, wie wir das schon anderweit thun, künstlich verstärkt werden. Da aber die Methoden, sehr geringe Elektrizitätsgrade gleichsam mit einem Vergrößerungsglase zu beobachten oder in der That zeitweilig zu verstärken, hinter dem, was eine nähere Untersuchung ihrer Ursachen erheischt, sehr zurückgeblieben sind, so müssen wir uns ein Elektroskop zu verschaffen suchen, das Elektrizität nicht blos da noch wahrnehmen läßt, wo zwar die gewöhnlichen Erkennungsmittel davon nichts anzeigen, aber die Vermutung besteht, daß es feinere thun würden; sondern welches auch so handlich ist, daß man damit fast überallhin und die Probe ohne möglicherweise störende Nebenhandlungen in wenigen Sekunden ausführen kann.

Dieses Instrument ist ein verfeinertes Pendel, das **Goldschaumpendel** (Fig. 2).

Zu Untersuchungen auf schwache bez. sehr schwache Elektrizitätsgrade ist es notwendig, daß der Faden des Pendels nicht bloß so fein und biegsam, sondern auch fester als ein ungezwirnter Spinngewebsfaden ist; so beschaffene Fäden lassen sich aber leicht aus Schellack herstellen. An einem solchen

wird jedoch nicht ein sehr kleines Hollundermarkkügelchen, sondern ein guter und möglichst leichter Wärme- und Elektrizitätsleiter, ein kleines, gleichschenklig-rechtwinkliges Dreieck von echtem Blattgolde, das Goldschaumplättchen B mit dem Scheitelpunkte seines großen Winkels und zwar so zart befestigt, daß es einem einigermaßen stark elektrischen Körper seine nächste freie Ecke ähnlich wie eine Magnetnadel ihren einen Pol dem un-

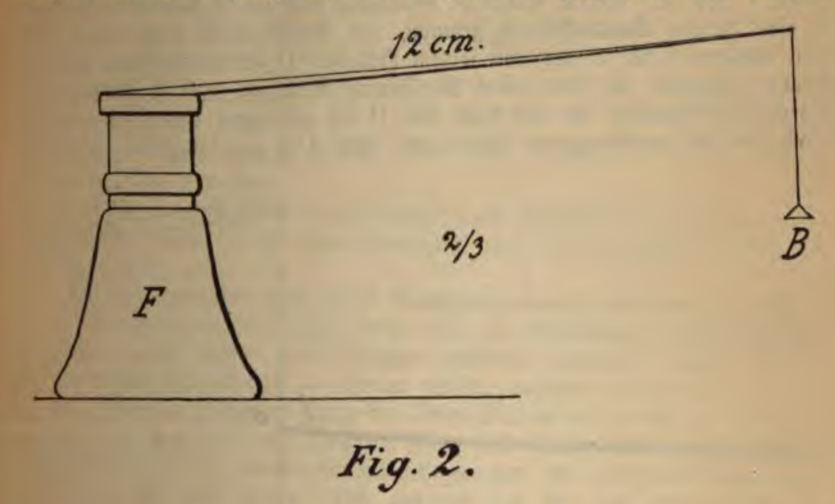


Fig. 2.

gleichnamigen eines andern Magneten zuwendet. Herab hängt das Pendel von dem fein auslaufenden Ende eines 11—12 cm langen Holzbalkens, dessen anderes, dickes Ende mit Siegellack auf dem oberen Rande einer kleinen Flasche F*) derartig klebt, daß der so entstandene Pendelträger etwas nach oben zeigt.

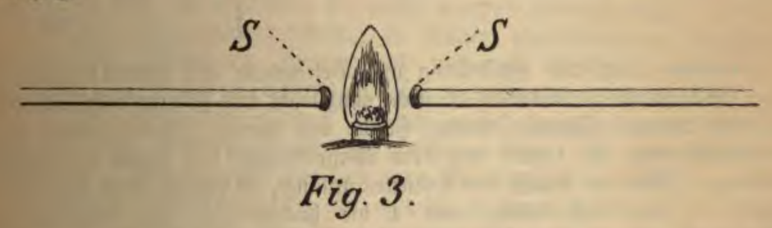


Fig. 3.

Fast unsichtbar feine Schellackfäden werden folgendermaßen hergestellt und an dem Balken befestigt.

Man nimmt zwei Streichhölzchen, klebt auf ihre beiden nicht präparierten Enden etwas Schellack S S und nähert sie, wie Figur 3 zeigt, der

---

*) Die Leimfläschchen aus der bekannten Fabrik von Leonhardi (Dresden) eignen sich, weil sie einen breiten und infolge dessen sehr sicher stehenden Fuß haben, dazu am allerbesten.

Flamme eines Spiritusbrenners von beiden Seiten her, bis das Harz anfängt zu schmelzen. Hierauf werden die Hölzchen sofort zurückgezogen, an einander gestoßen, sodaß sie zusammenkleben, augenblicklich wieder von einander entfernt und der schönste, mindestens 20 cm lange und oft kaum 0,002 mm dicke Schellackfaden ist fertig. Nachdem nun eins seiner Enden abgebrochen und das andere mit dem Faden aus der Hand gelegt worden ist, wird die Spitze l des auf seinem Glasfuße befestigten und bereit stehenden Balkens in eine dünne Schellacklösung getaucht, auf Papier leicht abgestrichen und dem mittleren Teile O des von seinem Hölzchen H herabhängenden Fadens genährt (Fig. 4); bei der ersten Berührung bleibt er sogleich hängen, die andere Hand schneidet ihn erst dicht über O ab und dann unten bei u durch, sodaß der frei herabhängende Faden nur etwa $3^1/_2$ cm lang ist.

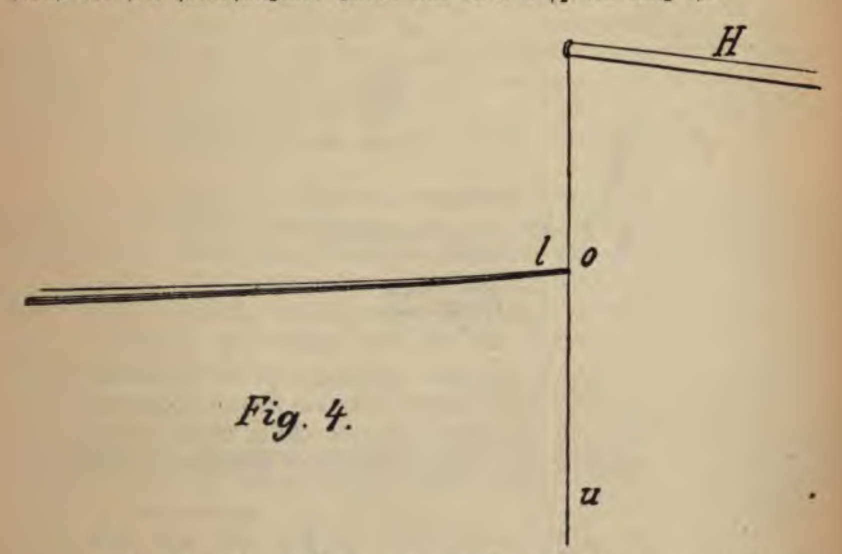
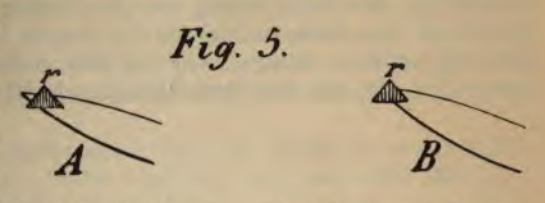


Fig. 4.

Endlich folgt die Herstellung und Befestigung des Pendelblättchens. Goldschaum zu schneiden ist nicht ganz leicht und gehören dazu jedenfalls ein recht warmes Zimmer, warme Hände und warme Scheere, damit weder das Gold noch die letztere von dem Wasserdampfe des damit Beschäftigten beschlage. Was die Größe des Dreieckes anlangt, so braucht seine Hypotenuse, damit es sehr leicht bleibe, nur 4 bis höchstens 6 mm lang zu sein. Schwieriger ist es aber das zarte, bekanntlich nur etwa $^1/_{7000}$ mm dicke Blättchen auch richtig aufzuhängen; denn es darf ja nicht mit den Fingern angefaßt werden. Ist der Schnitt gelungen, so wird es von seiner papierenen Unterlage mittelst eines passend geformten schlechten Wärmeleiters, z. B. eines Zahnstochers, der aber völlig glatt sein muß, auf das Ende eines anderen, den man in der anderen Hand hat, derartig geschoben, daß wenigstens die Spitze r seines rechten Winkels, wie Figur 5 A und B zeigt, über seine hölzerne Unterlage frei hervorsteht. Ist kein Gehilfe da, so legt man den

Stocher mit seinem Blattgolde vorsichtig aus der Hand, etwa quer über eine Streichholzschachtel, weil er sich in solcher Lage leicht wieder aufnehmen läßt, gießt einen Tropfen von der schon benutzten Schellacklösung aus, macht ihn möglichst flach, senkt das äußerste Ende des vom Balken herabhängenden Fadens mit der einen Hand einen Augenblick hinein, nimmt in die andere den Zahnstocher mit dem Goldschaume, bringt bei möglichst angehaltenem Atem u (Fig. 4) auf r (Fig. 5) bis beide aneinander kleben, wartet, damit der Leim trocknen kann, ein paar Sekunden und zieht das Gold, während seine Unterlage sanft zurückgehalten wird, langsam in die Höhe. Das ist das ganze Kunststück und bald hat man die Vorteile dabei heraus.



Geschützt werden muß unser Goldschaumpendel namentlich vor Wind und Erschütterungen; denn durch beide reißt die Verbindung zwischen Balken und Faden oder Faden und Blättchen natürlich manchmal durch. Daher stellt man alle seine Pendel — immer müssen mehrere vorrätig sein, und in den dazu nötigen Fläschchen kann der Leim bleiben wie er ist — in einen Schrank, den man stets nur langsam öffnet und schließt. Andererseits ist es zur Vermeidung von starken Erschütterungen gut, das Instrumentchen nicht unmittelbar auf den harten Tisch, sondern auf ein paar Blätter Papier niederzusetzen; denn wenn 20, 30 und mehr Proben so schnell wie möglich hintereinander gemacht werden müssen, versieht man es doch manchmal und stellt es unsanft aus der Hand. Freilich zu Untersuchungen auf starke Elektrizitätsgrade paßt es ebenso wenig wie eine mikroskopische Scheere zum Pappeschneiden. Jene sind aber auch darum gefährlich, weil der Faden dabei, wie wenn er sehr alt geworden ist, leicht dauernd elektrisch wird; in der Regel bleibt er jedoch mehrere Wochen, ja Monate lang brauchbar, vorausgesetzt, daß die Wärme im Zimmer nicht Tag und Nacht sehr groß ist.

Ueber das Verhalten unseres Goldschaumpendels bei Annäherung an eine Elektrizitätsquelle, die so stark ist, daß es sich bewegt, also vor allen Dingen bei seiner Prüfung durch den geriebenen Glas- oder Harzstab auf die Art seiner Elektrizität, sind die folgenden Bemerkungen am Platze.

Hängt das Blättchen so lose wie möglich an seinem Faden, ist es nicht geladen und nähert man ihm den geriebenen Stab H derartig, daß es diesem nicht eine seiner beiden freien Ecken, sondern eine Breitseite zuwendet, so beginnt es sich zunächst um die senkrechte Axe, welche sein Faden darstellt, zu drehen und zwar anfangs, wie B in Figur 6 I von oben her gesehen zeigt, nur sehr wenig, dann, d. h. bei größerer Annäherung des Stabes H, beträchtlich mehr (II) und alsbald noch mehr (III), um sich zu dem letzteren vollkommen axial zu stellen (IV). Die erste Spur von axialer Einstellung bedeutet den ersten Grad von Anziehung; denn erfolgt sie, so hat die Ecke n des Blättchens sich dem elektrischen Stabe schon genähert bevor es dies

noch als Ganzes that, und erst nachdem der Anfang der Drehung sichtbar wird, tritt zugleich mit dieser die Annäherung des ganzen Pendels, also seine stärkere Anziehung auf. Geschieht aber schon anfangs beides zugleich, so ist die Befestigung des Blättchens nicht zart genug und das Pendel zu vielen von den feinen Untersuchungen, die wir anstellen wollen, nicht hinlänglich empfindlich. Der erste Anfang von Annäherung des ganzen Goldschaumpendels an den Stab (und ebenso der Beginn der Entfernung des ersteren von dem letzteren, falls es, wie ich vorausnehme, mit diesem gleichnamig geladen ist, also das, was seine Abstoßung heißt), ist aber jederzeit leicht zu

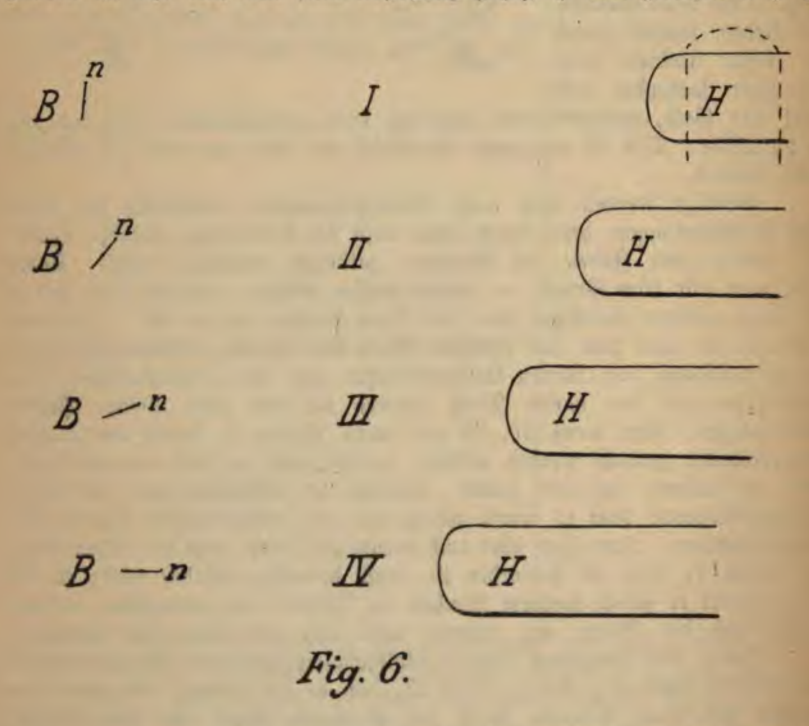


Fig. 6.

erkennen, wenn es über einem bedruckten oder beschriebenen Blatte Papier herabhängt; denn dann kann man, an ihm vorbei auf die Schrift sehend, genau die Stelle bestimmen, worauf es vor oder während der Einwirkung des Glas- bez. Harzstabes sich projiziert und Fortbewegungen feststellen, die weniger als ein halbes Millimeter betragen.

Ist dagegen das Pendelblättchen mehr oder weniger geladen, so wird es von dem gleichnamig elektrischen Stabe am weitesten fortbewegt, wenn er sich nicht der Kante, sondern der Fläche des ersteren und zwar derart nähert, daß die Längsachse des letzteren, des Stabes, eben dieser Fläche möglichst parallel läuft: Dann segelt es wie ein Schiff mit vollem Winde und rührt sich bis zu einem gewissen Punkte der Annäherung des Stabes außerdem

nicht im mindesten; nähert man ihn aber immer mehr, so schlägt das Blättchen plötzlich in axialer Stellung um und schießt wie ein Pfeil auf ihn zu. Vor dem ungleichnamigen Stabe aber dreht es sich, wenn seine beiden kurzen Kanten gleich sind, zunächst ganz und gar nicht, sondern kommt, ohne sich sonst zu rühren, mit der Fläche auf ihn zu und schlägt erst später, wenn jener etwas mehr genähert wird, mit einem Male in die Axialstellung um. Dieses Verhalten ist, wie wir sogleich sehen werden, nicht blos höchst wichtig für die Theorie, sondern auch praktisch verwertbar; denn infolge dessen können wir einen rasch eingetretenen Zeichenwechsel mit einem und demselben Stabe feststellen.

In engem Zusammenhange damit, daß das Pendel unter Umständen wie mit vollem Winde segelt, ist die Thatsache, daß das nicht geladene Blättchen sich am leichtesten dreht, wenn es, wie ein Segel auf dem Bote, eine gewisse Größe hat, nämlich nicht zu klein ist. Dann merkt man sich den Grad der Drehbarkeit eines verhältnismäßig großen rechtwinkligen Goldschaumdreiecks a b c (Fig. 7), dessen untere Kante b c 6—7 mm mißt, und schneidet davon parallel zu b c mit einer feinen, scharfen Scheere so viel ab, daß die Hypotenuse nur noch 4 mm lang ist, so muß man ihm den ebenso sehr geriebenen Stab, damit es sich drehe, viel mehr nähern, als vorher und geschieht diese Drehung auffallenderweise viel langsamer und unvollkommener. Dies ist ein sprechender Beweis dafür, daß es sich bei der vom Stabe ausstrahlenden Elektrizität — und im elektrischen Winde fühlen wir es sogar — um eine in der Luft, wie beim Lichte, fortschreitende Bewegung, **um Wellenstrahlen mit Schwingungen einer sehr kleinen Gattung handelt.** Ist nun das Pendelblättchen geladen, so können wir annehmen, daß die von ihm ausgehenden Wellen mit den von dem gleichnamig elektrischen Stabe kommenden bis zu einem gewissen Annäherungsgrade des letzteren gleiche Schwingungsdauer und gleiche Amplitude haben; dann bilden sich aber stehende Wellen, und diese etablieren, indem sie bei fortgesetzter Annäherung des Stabes bis zu einem bestimmten Punkte immer größer werden, ein unnachgiebiges Zwischenstück zwischen Stab und Blättchen. Daher wird dieses, wenn man nicht Gewalt anwendet, unzerstörbare, weil in jedem Augenblicke sich tausendmal erneuernde Einschiebsel durch den sich vorwärts bewegenden Stab wie ein von ihm unzertrennlicher Vorläufer vorwärts geschoben, so daß das so leicht bewegliche Blättchen, womit er beständig in Fühlung ist, dem leisesten Drucke des Stabes auf der Stelle nachgiebt und in dem Maße fortgeht als der letztere vorrückt. Denn bei der Bildung dieser stehenden elektrischen Wellen findet höchstwahrscheinlich dieselbe Druckverteilung zwischen je zwei benachbarten Knoten bez. Bäuchen statt, die für eine in stehenden Schwingungen begriffene Luftsäule von fachmännischer Seite nachgewiesen wurde und der ganzen Wellenreihe ihre Unbeweglichkeit verleiht: In den Knoten besteht nämlich ein Ueberdruck, der gegen die Bäuche hin beiderseits abnimmt

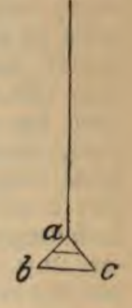


Fig. 7.

und ein beständiges Strömen der Luft von den ersteren gegen die letzteren bewirkt. War das Pendelblättchen aber unelektrisch, so werden die ersten und auch alle folgenden Stabwellen, von denen es getroffen wird, teilweise zurückgeworfen werden; daher läßt sich annehmen, daß die vom Blattgolde kommenden reflektierten Wellen sich um eine halbe Länge verspätet haben. In diesem Falle müssen also durch das Zusammenwirken der sich begegnenden Stab- und Blattgoldwellen Vernichtungen eintreten, Zerstörungen, wodurch Wärme entstehen muß, sodaß die atmosphärischen Krystalle heiß, ja schließlich glühend werden und infolgedessen die Elektrizität sowohl des Blättchens als auch des Stabes an dem betreffenden Punkte eine Zeit lang gleich Null ist. Während jedoch vorne, d. h. zwischen Stab und Blättchen, sich bis zur Vernichtung steigernde Wellenschwächungen auftreten, geschieht hinter dem letzteren gerade das Gegenteil, also Verstärkung zweier Wellenbewegungen, und aus diesen beiden Vorgängen zusammen resultiert die Anziehung. Mittelst des sogleich zu beschreibenden Mikrokondensators läßt sich nämlich zeigen, daß die Stabwellen bis weit über das Pendelblättchen, wenn es sich kaum erst ein wenig nähert, **hinausgehen,** ja noch halb so weit als es vom Stabe entfernt ist, hinter ihm nachweisbar sind. Da wir nun annehmen müssen, daß die von dem Stabe entfernte Hälfte des von ihm bestrahlten Goldschaumblättchens, weil sie mit ihm gleichnamig elektrisch ist (Kap. 17 und 25), Wellen aussendet, die mit den seinigen gleiche Länge haben, so tritt eben der Fall ein, daß sich beide Wellenzüge verstärken, wenn die Phasendifferenz eine gerade Anzahl von halben Wellenlängen beträgt. Findet aber das letztere statt, so entsteht in der Luft infolge der Annäherung des elektrischen Stabes an das Pendel **eine mehr oder weniger große Störung des Gleichgewichtes,** jedoch nur auf der geraden Linie zwischen Stab und Pendel. **Vorne nimmt der Druck ab, weil die Wellenthätigkeit hier mehr und mehr aufhört, und hinten vergrößert er sich, weil die letztere daselbst immer mehr wächst.** In dem Maße, als vorne der Druck abnimmt, nimmt er hinten zu, und schließlich fliegt das Blättchen, wie aus der Pistole geschossen, geraden Weges gegen den Stab. **Was wir Anziehung nennen, ist ebenso wie das Aufsteigen des Wassers im Pumpenrohre die Wirkung eines einseitigen Druckes.** Gleich jeder anderen Wellenbewegung vermag die Elektrizität im Grunde genommen nur zu stoßen und durchaus nicht zu ziehen, **vielmehr erscheint die elektrische Anziehung im Lichte der Wellentheorie als die Wirkung einer unter besonders günstigen Bedingungen entstehenden Vis a tergo,** und das Wunderbare ist nur, daß die Elektrizität sich diese Bedingungen selber schafft, um, wenn sie nicht mehr gesteigert werden können, als reine Stoßkraft aufzutreten.

So oder doch sehr ähnlich dürfte sich die Mechanik der elektrischen Anziehung und Abstoßung verhalten, denn auch die übrigen dabei in Betracht kommenden Erscheinungen, worauf hier nicht näher eingegangen zu werden braucht, lassen sich daraus leicht erklären.

Noch wichtiger als das Vorhergehende ist endlich die Thatsache, daß die Empfindlichkeit unseres Goldschaumpendels, obgleich sie schon recht groß ist, noch sehr bedeutend erhöht werden kann; denn hierauf gründet sich eine neue und außerordentlich feine Untersuchungsmethode.

Da sich nämlich herausstellte, daß bei Aufsuchung der ersten, Anziehung oder Abstoßung zeigenden Spuren von Elektrizität die Benutzung der Magnetnadel entweder zu umständlich oder sogar mit Fehlerquellen verbunden war, so trachtete ich dabei das Nächstbeste, was wir in dieser Beziehung kennen, das Prinzip der elektrischen Verstärkung in Anwendung zu bringen, und zwar in einer Weise, die trotz großer Einfachheit und Bequemlichkeit einen bedeutenden Effekt versprach. Und der Zufall wollte es, daß diese Methode zuerst da, wo noch niemals Elektrizität nachgewiesen werden konnte und auch die bloße Berührung mit unserem Pendel nichts ergab, nämlich im Innern elektrisierter Körper, 'sich — es war zuerst im November 1890 — vorzüglich, ja so großartig bewährte, daß ich den Erfolg anfangs für Täuschung hielt.

Alsbald ergab sich nun bei Versuchen mit einer schwach geladenen Franklinschen Tafel, daß das Pendel noch 35—40 cm von ihr entfernt Elektrizität augenblicklich und sehr deutlich anzeigte, wenn sein Blättchen soeben mit einem Kupferdrahte, den ich in der bloßen Hand hielt, berührt worden war. Dies Verfahren mag die Fernprobe oder Probe II b, und die einfach dadurch entstehende Ladung des Pendelblättchens, daß es zu den prüfenden Gegenstand blos berührt, die Probe I heißen.

Die Fernprobe nun ist es, wodurch wir die oben (S. 12) mit Nachdruck hervorgehobene Thatsache erfahren, daß die von einem geriebenen Stabe ausgehenden Wellen noch weit hinter einem Goldschaumpendel, das durch die Einwirkung jener sich nur erst ein Minimum rührt, nachweisbar sind. Zum Beispiel zeigt ein Pendelblättchen G die erste Spur von Einwirkung des negativ elektrischen Stabes, wenn es von diesem 12 cm entfernt ist, und stellt man es sogleich danach 20 cm vom Stabe entfernt auf, so geht dasselbe von dem positiven Glasstabe noch 1 mm fort, nachdem es mit dem Ende eines Metalldrahtes, den man in der Hand hat, berührt wurde; ja es zeigt sich immer noch etwas positiv, wenn die Probe bei einem Abstande von 23 cm geschah. Auf diese Weise läßt sich die Wirkungsweite der meisten makroskopischen Gegenstände bestimmen, wenn man etwa 1 mm als das Maß annimmt, um welches das Pendel G nach seiner Berührung mit dem abgeleiteten Leiter sich vor dem Stabe fortbewegt, der zu dem betreffenden Gegenstande R entgegengesetzt elektrisch ist, und verwundert man sich anfangs nicht wenig darüber, daß elektrische Wellen bis bald noch ebenso weit hinter G als vor ihm, d. h. zwischen ihm und dem R, thätig sind.

Hieraus schloß ich, daß auch von anderen Körpern als vom geriebenen Glas- oder Harzstabe bis in verhältnismäßig weite Ferne Wellenstrahlen ausgesendet, und daß dieselben in Hohlräumen durch ihr gegen-, ja beinahe allseitiges Zusammenwirken nur stark geschwächt werden. Daher senkte ich mein Pendel in die verschiedensten elektrisch gemachten Hohlkörper, in gute und schlechte Leiter, ohne

auf einen ungewöhnlich guten Boden; denn unbestritten ist die Thatsache, daß ein etwas erwärmter Körper durch Zuführung von Elektrizität stärker erregt wird als der nicht-erwärmte. Folglich entwickeln sich in L die von K herkommenden Wellen sofort zu einer außerordentlichen Intensität, und weil andererseits die Platte K durch die Wärmestrahlen des L höhere Temperatur bekommt, so werden die von L her wieder zurückkehrenden in ihr noch mächtiger. Dabei nehmen wir an, daß, wie bei allen Influenzierungen, die reflektierten oder wieder austretenden elektrischen Wellen sich wie jene des Lichtes um eine halbe Länge verzögern, weil positiv und negativ sich ja vernichten und dies nur geschehen kann, wenn die einander begegnenden Wellenzüge derartig verschiedene Gangart haben. Mit kurzen Worten: Sendet K negative Wellen aus, so vergrößern sie sich in L, weil es hier wärmer ist, und kehren als positive wieder zurück, um in K, weil dieses durch L erwärmt wird, noch kräftiger zu werden und von K als negative wieder auszugehen. Rührt aber die Verstärkung wirklich von der Erwärmung des mit einem guten Wärmeleiter berührten Leiters her, so kann die erstere, wenn man statt des Drahtes ein dickes Blech oder eine Schiene von demselben Metalle nimmt, also Leiter, die sich sehr viel weniger erwärmen, nur gering sein; und das trifft jedesmal zu.

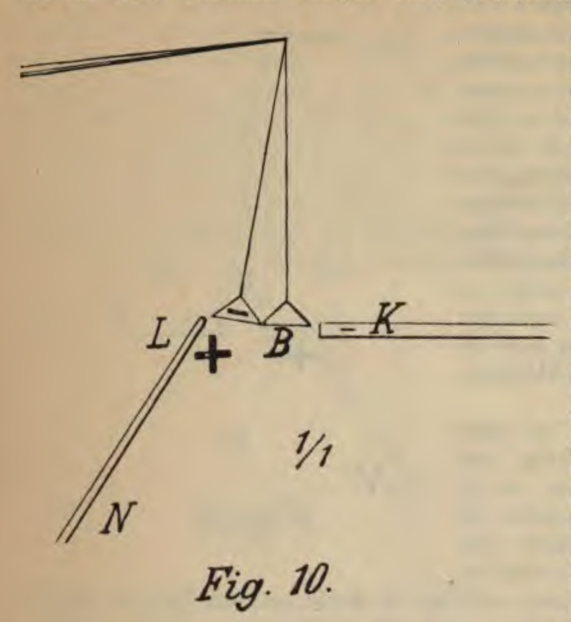


Fig. 10.

Ist nun die isolierte Platte K noch schwächer, und zwar so schwach negativ, daß B durch die soeben besprochene Annäherung des Kupferdrahtes L nicht mehr in distans angezogen wird, sondern an letzterem höchstens hängen, gleichsam kleben bleibt (Kap. 17), so erfolgt dennoch seine Ladung und zwar in so hohem Grade, daß es vor dem geriebenen Glasstabe mehrere Millimeter fortgeht, wenn K einen schlecht leitenden Ueberzug, z. B. von Oxyd hat, etwa drei Viertel von B auf K flach aufgelegt und seine hervorstehende Ecke oder Kante einen Augenblick ohne zu drücken oder zu reiben mit dem einfach in der Hand gehaltenen Drahte L berührt und sogleich wieder abgehoben wird. Das ist die Probe IIa (Fig. 11). Dabei bekommt das auf einem so vor Ableitung geschützten Körper aufgelegte Goldschaumblättchen schon vor seiner Berührung durch L eine, wenn auch hier noch nicht nachweisbare

Spur von Elektrizität, aber nicht durch Mitteilung, sondern durch Influenz, also eine kleine Wenigkeit Positivität. Denn legt man ein ungefähr thalergroßes, nicht ganz ebenes, nur 0,10—0,15 mm dickes Stück oxydiertes Zink auf einen ebenso großen Siegellackkuchen, der sich vorher nur noch mittelst der in größter Nähe angestellten Probe II b 4—5 mm negativ erwies, so ist das auf dieselbe Weise untersuchte Metall oberseits allenthalben positiv, muß es also auch auf seiner unteren Fläche, da sie nur lose aufliegt, sein. Statt des Stückes dünnen Zinkblech kann man auch, um sich zugleich noch von der Elektrizität in der Höhle eines außerordentlich schwach elektrischen Körpers zu überzeugen, ein kleines, kaum 3 cm hohes Blechtöpfchen, womit die Kinder spielen, nehmen und wird, nachdem es auf denselben Kuchen gestellt wurde, mit der Fernprobe II b finden, daß es in seiner Tiefe noch deutlich, d. h. ganz unten nahe an der senkrechten Gefäßwand 2—2 $^1/_2$ mm, nahe der Mitte $^1/_2$—1 mm positiv, oben aber ganz unelektrisch ist. Bringe ich nun dem auf die oxydierte Platte K aufgelegten und eben dadurch schon eine Spur positiven Goldschaumblättchen die Spitze L des in der Hand befindlichen Drahtes so nahe, daß sein freier Teil von ihr berührt wird, so erhält es von derselben die nämliche, aber sehr verstärkte Elektrizitätsart dazu, und hebe ich jetzt erst den Draht und hierauf sofort das Blättchen in die Höhe, so hat sich in diesem der größte Teil der Positivität des L gefangen. Folglich ist der unser Goldblättchen berührende Draht kein Ab-,

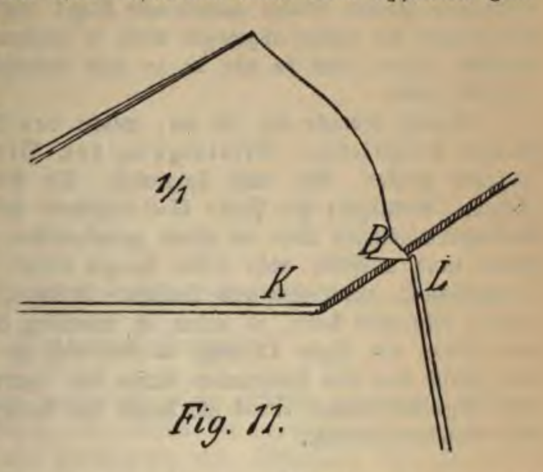


Fig. 11.

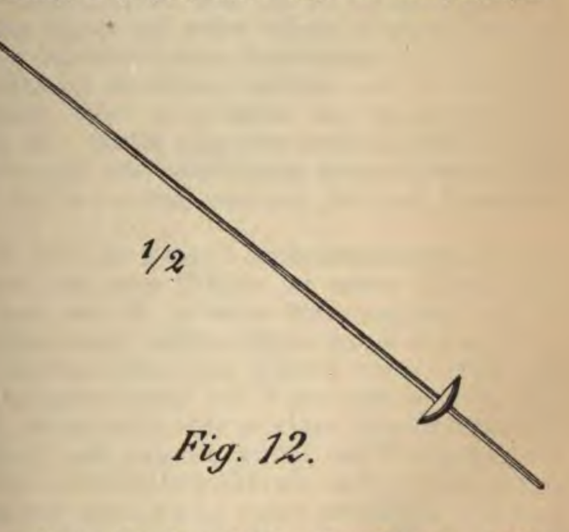


Fig. 12.

sondern ein Zuleiter, ein Zubringer jener der Quelle selbst entstammenden, aber durch die Gunst der Umstände hochgradig verstärkten Kraft. Nur so ist es zu erklären, daß eine in der Nähe eines elektrischen Stabes isoliert aufgehängte Kugel nicht nur in dem Augenblicke viel heftiger als vorher angezogen wird, in welchem man sie mit dem Finger berührt, sondern, daß sie von da an auch elektrisch und zwar entgegengesetzt elektrisch bleibt.

Endlich bemerke ich für die, welche den Mikrokondensator, die soeben beschriebene Vereinigung von Pendel und Draht, selber erproben wollen, kurz noch Folgendes. Da bei Untersuchungen auf sehr schwache Elektrizität die Probe IIa ungemein häufig gebraucht wird, das Goldschaumblättchen aber an einem gewöhnlichen Drahte, weil dessen Ende etwas rauh ausfällt, nicht selten hängen bleibt, und da man ein solches Drahtstückchen, wenn Zeit und Umstände drängen, nicht schnell genug in die Finger bekommen kann, so nahm ich schließlich eine Stricknadel, steckte ihr eines Ende, wie Figur 12 zeigt, in eine nicht zu kleine hölzerne Knopfform und schnitt von dem kreisrunden Rande der letzteren an zwei einander gegenüber liegenden Stellen etwas ab, damit das Ganze nicht rollte. Das ist der beste Kondensatordraht.

Kapitel I.

Allgemeines über die Elektrizitätsursachen und den Voltaschen Fundamentalversuch.

Der Stoff, den man anfänglich allein elektrisch zu machen verstand, der Bernstein, wurde es durch nichts weiter als durch die mehr oder weniger schnelle Aufeinanderfolge von Erwärmung und Abkühlung, die überall bei der Reibung vor sich geht. Als vor bald zwei Jahrhunderten Hawksbee am erstarrenden Wachse, und später Desaguilers, der als erster annahm, daß die Luft elektrisch wäre, am ausgelöschten Lichte Elektrizität beobachteten, so war das Elektrizität bei Abkühlung nach vorhergegangener Erwärmung. Nachdem um jene Zeit bekannt geworden war, daß der ins Feuer geworfene Turmalin leichte Körperchen anziehe und wieder abstoße, so zeigten schließlich Bergmann und Canton, daß die elektrischen Erscheinungen dieses Minerales nur bei Zu- oder Abnahme der Temperatur auftreten, und die Elektrizität, die 1823 Seebeck entdeckte, rührte ja gleichfalls nur von plötzlicher Erwärmung und Abkühlung her. Endlich zeigte vorzugsweise Hankel, daß alle isolierenden Krystalle und wohl alle krystallinischen Körper überhaupt leicht elektrisch würden, wenn wir sie nur rasch erwärmen, oder nach Erwärmung schnell erkalten lassen.

Aber wie steht es denn mit Volta's Fundamentalversuche, worauf, wie der Name sagen will, das ganze Gebäude der neueren Elektrik ruht? Auch hier ergiebt sich, wenn man ihn in diesem Sinne zergliedert, daß die Platten 1) beim Anfassen ihrer beiden Stiele durch Bestrahlung, vorzugsweise natürlich von seiten der Hände, etwas aber auch durch den Akt des Zusammenlegens selber erwärmt werden, weil ja die Luft zwischen ihnen mehr oder weniger zusammengedrückt wird (Kompressionswärme); und daß sie 2) bei der Trennung, wie auch in diesem Augenblicke das Kältegefühl am nackten Handgelenke beweist, sich plötzlich und zwar um so tiefer abkühlen, je dichter sie aufeinander lagen. Der Volta-Effekt — so möchte ich das Ergebnis des Voltaschen Grundversuches kurz nennen, hat also, wie vor allen die Reibungselektrizität, einen schnellen doppelten Temperaturwechsel hinter

sich: Liegen die Platten aufeinander, so sind sie infolge der Erwärmung, wenn alles in Ordnung ist, beide negativ; werden sie auf einmal parallel getrennt, so kühlt sich das leichter erwärmbare Zink viel mehr ab als das Kupfer, das darum negativ bleibt, wird einen Augenblick, (dessen man natürlich nur mittelst einer noch feineren Methode habhaft werden könnte), unelektrisch und gleich darauf positiv. Wieviel auf den ersten Akt, die in der angegebenen Weise stattfindende Erwärmung der Platten, ankommt, werden wir, weil es zuviel voraussetzt, erst im Schlußkapitel, wo einiges Spezielle über den ganzen Versuch zusammengestellt werden soll, genauer sehen; daß aber der zweite Akt, die Trennungskälte, nicht weniger wichtig ist als der erste, lehrt schon das bekannte Ausbleiben des Effektes, wenn die Platten nicht parallel von einander getrennt werden, sondern die eine von der anderen seitlich abgezogen wird oder nur einen Punkt berührte, also Luftverdünnung, Luftzug und Abkühlung nicht entstehen konnte.

Allein auch ein schlechter Leiter, z. B. das Ende einer Siegellackstange, die seit ein paar Tagen ruhig daliegt und darum selber mit Probe II a nirgends mehr eine Spur von Elektrizität zeigt, wird deutlich elektrisch, nachdem es, ohne dabei mit einem Finger berührt worden zu sein, mit der Seite einer kleinen Weingeistflamme einige Sekunden lang schwach erwärmt worden ist und sich hierauf selbstverständlich wieder verhältnismäßig schnell abkühlt (S. 54 f). Blos die in dem verwendeten Materiale liegende Langsamkeit der Abkühlung nach starker Erhitzung desselben war, wie wir Kapitel IX beweisen werden, schuld, daß die durch seine Temperaturerhöhung eingeleitete Elektrizitätserregung für die gewöhnlichen Elektroskope zu schwach ausfiel und seit Beccaria vergeblich gesucht wurde.

Ist aber die Elektrizität von zwei so veränderlichen Größen, von den verschiedengradigen Temperatursteigerungen und Temperaturerniedrigungen abhängig, so kann sie, weil selber eine sehr veränderliche Größe, **nicht anders als eine Funktion der Wärme definiert werden.** Auf unserm eigenen Wege sind wir also eben da angelangt, wohin Berzelius (Albrecht Rau, die Theorien der Modernen Chemie, I. S. 26) zwar aus anderen, aber immerhin ähnlichen Gründen kam, nämlich weil die Polarität durch Zunahme der Wärme erhöht und durch Abnahme derselben vermindert wird.

Nach diesen Andeutungen müßte bei der Bearbeitung der Elektrizitätsursachen eigentlich unterschieden werden die einfache Erwärmungs- und die einfache Abkühlungselektrizität, d. h. die Elektrizität, welche, wie beim Turmalin während der Erwärmung bez. während der Abkühlung zu beobachten ist; alsdann die Abkühlungselektrizität nach Erwärmung, sowie umgekehrt die Erwärmungselektrizität nach Abkühlung; endlich die Elektrizität nach Erwärmung, Abkühlung, Wiedererwärmung u. s. f. Dies systematisch auseinander zu halten, wäre aber nicht nur ganz unpraktisch, sondern auch größtenteils unrichtig, weil sowohl in der Natur als auch bei den zur Elektrizitätserregung nötigen Manipulationen kleine, jedoch trotzdem einflußreiche

Temperaturänderungen nach auf- oder nach abwärts sich fortwährend aneinander reihen.

Je eingehender man nun das Studium der ersten Spuren von Elektrizitätserregung betreibt, umsomehr kommt man zu der Ueberzeugung, daß dieselben auf keine Weise besser als durch den Voltaschen Fundamentalversuch zu erlangen sind, weil unser Mikrokondensator den bekannten Effekt augenblicklich und schwach sogar noch unter recht ungünstigen Umständen zeigt, wenn nämlich die Platten ziemlich schlecht aufeinander passen und vielleicht nur vom Schlosser oder Klempner sind. Infolgedessen fühlt man freilich bei jedem dieser Versuche, daß es uns, solange wir seinen Effekt nicht ebenso leicht, wie er zu erhalten ist, erklären konnten, an der nötigen Wertschätzung der Hauptvorgänge bei der Elektrizitätserregung überhaupt fehlte.

Da es nun vor allen Dingen darauf ankommt, die feinsten Anfänge der Elektrizität da aufzusuchen, wo es die Umstände vermöge ihrer Einfachheit, Teilbarkeit und Klarheit am besten gestatten, der Fundamentalversuch aber, wie schon oben bemerkt wurde, beide Momente, die wir als die Entstehungsursachen der Elektrizität ansehen, in sich vereinigt: So muß er derart in Angriff genommen werden, daß wir sowohl die **Zink- als auch die Kupferplatte allein**, also **jede einzeln** auf Elektrizität, einmal bei Erwärmungen, wie sie die Nähe unseres Körpers setzt, das anderemal bei Abkühlungen untersuchen, wie sie bei der plötzlichen parallelen Trennung von zwei aufeinander liegenden Gegenständen entstehen. Und indem wir dabei das Nötige über die anderen einfachen, d. h. über die vom Magnetismus unabhängigen Elektrizitätserregungsarten entwickeln, wird sich herausstellen, daß der Einwand, die thermoelektrischen dürften nicht mit den Kontakt-Erscheinungen zusammengeworfen werden, darum unhaltbar ist, weil es Elektrizität ohne thermische Ursachen überhaupt nicht giebt.

Kapitel II.

Die physikalischen Thatsachen, welche dem Voltaschen Fundamentalversuche zu Grunde liegen.

Um auszuführen, was am Ende vorigen Kapitels verlangt ward, nämlich nach Temperaturänderungen zunächst jede der beiden Voltaschen Platten einzeln auf Elektrizität zu untersuchen, muß man dafür sorgen, daß eine jede nicht blos isoliert, sondern auch gegen Zuleitung von Wärme und vor Wärmstrahlen der Hände und anderer Teile des Experimentierenden möglichst geschützt sei. Dies geschieht 1) dadurch, daß die Platte — ich

nahm, wie schon Figur 9, 10 und 11 verraten, der Einfachheit halber immer quadratische von 7—8 cm Seite — wagerecht auf ein 5,5—5,7 cm langes Stück einer runden Siegellackstange und diese wieder auf ein 6—6 1/2 cm hohes Leimfläschchen (S. 7) geklebt wird (Fig. 13). Daher läßt sich die Platte 2) wie ein kleiner Tisch überall hinstellen, ohne daß sie einen Gegenstand berührt, und doch so handhaben, daß man sie hoch oben oder tief unten anfassen und dadurch im ersteren Falle mehr und im letzteren weniger bestrahlen kann.

Den Ausgangspunkt für die Erklärung des Voltaschen Fundamentalversuches bilden folgende, mit dem Mikrokondensator verhältnismäßig leicht feststellbare Thatsachen.

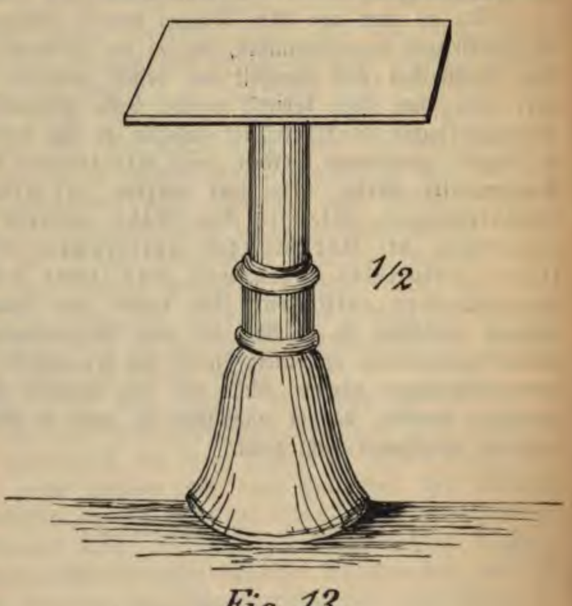


Fig. 13.

I) Jede von den beiden Metallplatten allein wird durch wiederholte schwache, aber plötzliche Erwärmung und Abkühlung elektrisch, nämlich unter gewöhnlichen Temperaturverhältnissen des Versuchsraumes sowie des Versuchsanstellers selber **negativ, und diese Negativität nimmt mit der Temperatur zunächst zu.** (Erste Thatsache.)

II) Benutzt man zu diesen Versuchen einmal eine Zink- und ein andermal eine Kupferplatte, so zeigt sich, daß sie beide durch den mehrfachen Temperaturwechsel verschieden leicht und verschieden stark elektrisch werden, **daß nämlich das Zink viel leichter und viel stärker negativ wird als das Kupfer.** (Zweite Thatsache.)

Setzen wir nun die Erwärmung, Abkühlung, Wiedererwärmung und so weiter bei jeder einzelnen Platte noch länger fort, so wird sie

III) **gerade dadurch zunächst unelektrisch, hierauf aber entgegengesetzt elektrisch, also positiv. Beim Zink jedoch erscheint die Positivität viel eher und meist auch stärker als beim Kupfer,** sodaß, nachdem Er-

wärmung und Abkühlung sich vielmals, z. B. zehnmal wiederholten, das Kupfer noch negativ, das Zink aber schon positiv ist.

Somit ergeben die Voltaschen Platten den bekannten Effekt auch **ohne** daß sie einander berührten oder auch nur genähert wurden, einzig und allein dadurch, daß ihre Temperatur unter wiederholter Einschaltung von Remissionen immer mehr gesteigert wird.

Die bei jeder der beiden Platten vor sich gehende Umwandlung der Negativität in Positivität ist aber nur der Ausdruck eines ganz allgemeinen Gesetzes, nach welchem die eine Art von Elektrizität bei jedem Körper, der sie besitzt, in die andere durch weiter fortgesetzte Erwärmung, Abkühlung, Wiedererwärmung u. s. f. vielmals hintereinander übergeführt werden kann. (Das Umwandlungsgesetz.)

Kapitel III.

Nachweis der ersten Thatsache.

Auf welche Weise wird nun der zwei- bez. mehrfache Temperaturwechsel, den wir kurz mit EAW oder EAWAW . . . (E = Erwärmung, A = Abkühlung, W = Wiedererwärmung) bezeichnen wollen, bei jeder einzelnen Voltaschen Platte, also ohne Ausführung des Fundamentalversuches, bewirkt.

Einfach dadurch, daß man an jeder derselben wiederholt die Probe IIa macht (S. 16).

Dabei ist jedoch 1. nötig, daß die benutzten Platten, wie ebenda schon hervorgehoben wurde, mit einer dünnen Oxydschicht, die entweder von selber oder durch Behandlung mit verdünnter Schwefelsäure u. dergl. entstand, überzogen sind; denn der dünne Oxydüberzug ist als Halbleiter fähig zu verhindern, daß die auf das aufgelegte isolierte Goldblättchen durch die kurze Berührung mittelst der Nadel (S. 17) übertragene, hochgradig verstärkte Influenzelektrizität ganz oder größtenteils auf die Platte übergeht und sogleich wieder abgeleitet werde. 2. Da es sich, wie schon angedeutet ward, zunächst um die Wirkung von Temperaturänderungen handelt, die im gewöhnlichen Leben für sehr klein gehalten werden, so ist es, damit sie einen Einfluß ausüben können, erforderlich, daß der Untersuchungsraum gleichmäßig warm ist und *nur* die sogenannte Zimmerwärme, etwa 15° C., besitzt, wie denn auch

der Experimentator selber nicht erhitzt sein darf, wenn die Versuche „rein" sein sollen.

Vergegenwärtigen wir uns unter der Annahme, daß die Platte ca. 30 cm vom Experimentierenden entfernt auf dem Tische steht, die einzelnen Handlungen bei wiederholter Anwendung der Probe IIa, so wird sie dadurch, daß man sich ihr mit dem Oberkörper, namentlich aber mit beiden Händen und dem Ende der sehr leicht warm werdenden Nadel nähert, durch Strahlung und schließlich auch durch Leitung mittelst des auf ihr liegenden Pendelblättchens in dem Augenblicke erwärmt, wo es die Nadel berührt. Die Hauptsache ist aber die Wärmestrahlung; denn wenn man zur Ausführung der Probe IIa ein Pendel mit außergewöhnlich, z. B. 17 cm langem Träger nimmt, so kommt die eine Hand der Platte weniger nahe, erwärmt sie also weniger, als wenn jener normal lang ist, d. h. ungefähr 12 cm mißt. Ist nun diese Erwärmung die erste Ursache davon, daß die Platte durch die Probe IIa elektrisch wird, so muß die Elektrizität, welche man bei Anwendung eines Pendels mit sehr langem Träger erhält, schwerer hervorzurufen sowie wesentlich schwächer sein; und dies ist jederzeit der Fall. Demnach macht es auch einen beträchtlichen Unterschied, ob man das Pendelblättchen hinten bei h (Fig. 14), oder vorn bei v auflegt: Von dort bekommt man einen weit größeren Ausschlag als von hier, weil dort die Hand, welche der Punkt x markieren soll, der Platte viel näher ist als hier. Ferner: Wenn ich die Platte, die bei 30 cm Entfernung, von mir z. B. die Reihe 007 gab, bis auf 45 cm von mir zurückstelle, so bekomme ich, falls dort das Thermometer ebenso hoch steht, nur 00004, und der Grund von dieser auffallenden Veränderung kann kein anderer sein, als daß die von meinem Kopfe, Rumpfe und den Armen ausgestrahlte Wärme in der um ein Drittel größeren Entfernung zur Erwärmung der Platte durch die Hände viel weniger beizutragen vermochte, dieselbe also weniger warm ward als wenn sie mir näher stand. Am großartigsten aber wird die Verzögerung und Verminderung der Elektrizitätserregung mittelst IIa, wenn man sich in einem weniger warmen Raume befindet, oder wenigstens Gesicht und Hände abgekühlt hat, bez. die Wärmestrahlung der letzteren dadurch herabsetzt, daß man dicke Handschuhe anzieht. Freilich halten alle diese Mittel nicht lange vor; allein jede auf diese Weise gesetzte Gegenprobe beweist unzweideutig, daß in erster Linie Erwärmung nötig ist, wenn man eine Volta-Platte mittelst Berührung elektrisch machen will.

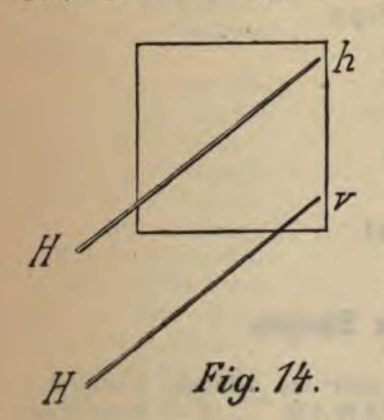


Fig. 14.

In zweiter Linie gehört dazu, daß auf die kleine Erwärmung eine rasche, also möglichst große Abkühlung folgt.

Denn wenn ich das Goldschaumblättchen, nachdem es mit der Nadel

berührt worden ist, von der Platte wegnehme, so fällt für diese augenblicklich die verhältnismäßig starke Bestrahlung durch die beiden Hände fort. Wie wesentlich auch diese Bedingung ist, geht aus dem folgenden hervor. Wenn z. B. eine Zinkplatte vor einer Viertelstunde dreimal in kürzester Zeit, d. h. im Laufe von 40 Sekunden mit II a untersucht wurde, sodaß sie also dreimal je 5—8 Sekunden lang erwärmt ward, und schon bei der dritten Probe 10 mm Negativität zeigte, so giebt sie unter sonst gleichen Bedingungen durchaus keine Elektrizität, wenn ich sie ohne Unterbrechung dreimal 5—8 Sekunden lang dadurch erwärme, daß ich das Pendelblättchen ganz ebenso wie vor einer Viertelstunde auflege, die Nadelspitze ebenso lange in die Nähe seiner freien Ecke halte und dieselbe nach Ablauf von 15—24 Sekunden kurz berühre; vielmehr muß ich nach einer so lange ununterbrochen fortgesetzten Erwärmung, immer noch zweimal nach einander die Probe IIa von der gewöhnlichen Dauer machen, ehe die Platte wieder negativ wird. Jetzt, bei der dritten Probe, ergiebt sie aber statt 10 mm sogleich 20 mm Negativität, was offenbar daher rührt, daß sie *vor* Beginn dieser letzten drei, also möglichst rasch hinter einander angestellten kurzen Proben bereits viel wärmer als früher geworden war. Dieses mit der Gesamterwärmung wenigstens zu Anfang gleichen Schritt haltende Wachstum der Elektrizität ist nicht minder wichtig, als das andere, was der Versuch so schlagend beweist, nämlich *daß die Platte nur kurze Zeit erwärmt werden darf, und daß die an diese Erwärmung sich von selber anschließende rasche Abkühlung ebenso notwendig ist*, wie jene. *Die Schnelligkeit der Abkühlung nach voraufgegangener Erwärmung ist es, wovon die Elektrizitätserregung in zweiter Linie abhängt*; denn erwärmte man die Platte lange und ununterbrochen, so konnte sie sich auch nur relativ langsam abkühlen.*)

Günstigen Falls, d. h., wenn der Experimentierende hübsch warm und die Luft, wie im Winter bei lebhaften Winden im ungeheizten, aber doch ungefähr 15° warmen Zimmer, recht trocken ist, bekommt man sogar schon bei der zweiten Probe mit IIa Elektrizität, und ist dieselbe offenbar die Wirkung der nochmaligen Erwärmung der Platte durch die dabei geschehenden Manipulationen; denn die darauf folgende, durch die Entfernung der Hände bedingte Abkühlung geht uns hier darum nichts an, weil wir ja das Pendelblättchen *während* der größten Erwärmung, d. h., nachdem es von der Nadel berührt worden war, augenblicklich abhoben und sogleich elektrisch befanden.

Es kommt freilich auch vor, daß man schon bei der ersten Probe ein wenig, vielleicht $^1/_2$—2 mm Negativität erhält; allein in diesen Fällen ist schon vorher etwas geschehen, was den Versuch kompliziert, indessen nur zu leicht übersehen oder unterschätzt wird, z. B. daß die Platte noch nicht auf

*) Im Kleinen, aber lebhaft erinnert diese Thatsache daran, daß *durch Erwärmung und Wiederabkühlung von Magneten* elektrische Ströme erzeugt werden, wenn nämlich die Erwärmung durch die wiederholt sehr kurze, jedoch äußerst dichte Annäherung eines Eisendrahtes an die Pole des ersteren geschieht.

der Platten auf den Arbeitstisch, den einzigen Platz, wo das Experimentieren in Ruhe möglich ist, erfordert Gleichmäßigkeit. Denn wollte man den Fuß der einen Platte dabei länger anfassen als jenen der andern, so hätte man die erstere auch schon stärker erwärmt, als die letztere. Beide zusammen dürfen sie aber auch nicht auf dem Arbeitstische stehen, weil, wenn dies stattgefunden hätte, die zweite während der Untersuchung der ersten bereits erheblich wärmer geworden wäre. Nun sind aber auch die bei der Untersuchung des zuerst vorgenommenen Metalles unvermeidlichen Temperaturerhöhungen zu berücksichtigen, denn einesteils wird man durch die Arbeit der mehrmaligen Prüfung der ersten Platte und durch die dabei dem Körper zugeführte Elektrizität, wie man sehr deutlich fühlt, wärmer, und wer sich viel mit Elektrizität praktisch beschäftigt, kennt das lästige Heißwerden beim Experimentieren nur zu sehr; andererseits aber hat sich, bis man mit der ersten Platte fertig ist, auch die vom Körper dabei fast immer berührte Seite des Tisches samt der Luft in dieser Gegend, wie jedes Thermometer zeigt, beträchtlich erwärmt.

Nach alledem verfährt man, um sich über das Verhältnis des Zinks zum Kupfer bei ihrer Erwärmung durch die Nähe des menschlichen Körpers genau Rechenschaft geben zu können, am besten folgendermaßen:

1. Von den beiden mindestens 50 cm abseits stehenden Platten nimmt man immer nur eine auf einmal vor und setzt sie auf einen bestimmten Punkt vor sich auf den Tisch. Dieser Punkt ist von meinem Gesichte, wenn das Zink bald, d. h. spätestens nach drei Proben negativ sein soll, ich normal warm bin und die im Zimmer herrschende Temperatur ungefähr 15° beträgt, ca. 30 cm entfernt. Bin ich aber heiß, so muß die Platte von mir 4—5 cm weiter abstehen; denn wenn man stark ausstrahlt, so bleibt die Zinkplatte bei 30 cm Entfernung meist unelektrisch, weil sie schon *vor der ersten Probe zu sehr erwärmt* ward und infolge der ihr weiter zugeführten Wärme bereits im Begriffe steht *höher* elektrisch, nämlich positiv zu werden, wie sich im nächsten Kapitel zeigen wird.

2. Nachdem die Platte ihren Platz erhalten hat, lehnt man sich zurück und bleibt vor ihr 1—2 Minuten — unterdessen beruhigt sich auch das Pendel — still sitzen, damit die vorher besprochene Temperaturerhöhung, die das Heranholen derselben schlechterdings mit sicht bringt, verschwinden und nicht mehr stören kann.

3. Zur Untersuchung beider Platten muß nicht nur ein und dasselbe Pendel genommen, sondern auch sein Blättchen bei beiden auf den nämlichen Ort und in derselben Weise aufgelegt bez. mit derselben Nadel berührt werden. Nicht minder ist darauf zu achten, daß die Zeit, welche man zu einer jeden Probe braucht — zum Auflegen und Berühren 5—6 Sekunden und zur Prüfung des Pendels mit dem Stabe 7—8 Sekunden — nahezu gleichgroß ist und auch die Pausen zwischen den einzelnen Proben möglichst kurz sind.

4. Nachdem die eine Platte durch die zweite oder eine spätere Probe elektrisch, und bei der folgenden, wie gewöhnlich, viel stärker elektrisch geworden ist, stellt man sie beiseite und zieht sich 2—3 m, am besten an das Nordfenster zurück, wo das Thermometer im Sommer ja auch etwas niedriger

als anderswo im Schatten steht, einesteils damit der Platz, wo man soeben thätig war, anderenteils aber auch der eigene Leib sich wieder bis zu dem Grade abkühle, den sie vor der Untersuchung der ersten Platte besaßen. Wie lange das dauert, richtet sich nach der Zahl der vorher nötig gewesenen Proben und nach der Konstitution des Experimentierenden, d. h. ob er überhaupt leicht oder schwer warm wird. Jedenfalls sagt dem, der auf sich achtet, das Gefühl, wann dieser Zeitpunkt eingetreten ist, doch thut man gut, lieber etwas länger als zu wenig, mindestens aber zehn Minuten zu warten, bis an die Untersuchung der anderen Platte gegangen wird. Alsdann stellt man diese auf den Platz, wo die erste, während sie geprüft wurde, stand, setzt sich wieder 1—2 Minuten ruhig und zurückgelehnt vor sie hin, ehe mit den Proben, die, wie gesagt, ganz analog den ersten vorzunehmen sind, begonnen wird.

Verfährt man auf diese Weise, und vermeidet peinlich alles, was bei der zweiten Versuchsreihe zu anderen Temperaturen wie bei der ersten führt, so unterliegt es kaum einem Zweifel, daß das Zink, gleichviel ob zuerst oder zuzweit untersucht, viel eher und viel stärker elektrisch wird als das Kupfer, und erhält z. B. die überraschenden Reihen:

Zn	0	0	2	15	30	
Cu	0	0	0	0	1	10

oder

Zn	0	2	20	30
Cu	0	0	1	10

und Aehnliches.

Es hat lange gedauert, bis es mir zur Gewißheit wurde, daß dem so sei, weil ich die Fehlerquellen teils noch nicht alle kannte, teils zu gering anschlug; daher bekam ich anfangs keine übereinstimmenden Resultate, obgleich ich mir aus zahlreichen Versuchen anderer Art klar war, daß das Kupfer bei normaler Temperatur und nur kleinen Wärmezuschüssen sich bedeutend schwerer erwärmt als das Zink.

Kapitel V.

Das elektrische Umwandlungsgesetz.

Nun entsteht die Frage was wird, wenn man die durch wiederholte Anwendung der Probe IIa negativ gewordene Zink- oder Kupferplatte auf dieselbe Weise weiter behandelt?

Mit der Antwort derselben begründen wir die dritte und letzte der Seite 22 aufgestellten Behauptungen, und führt diese Behandlung der Platten,

wie daselbst schon ausgesprochen wurde, alsbald zur Herstellung des Volta-Effektes, nämlich durch zahlreiche, von ebenso vielen kleinen Abkühlungen unterbrochene Erwärmungen, statt durch eine einmalige, verhältnismäßig starke Erwärmung und Abkühlung. Im weiteren Verfolge dieser Thatsache zeigte sich aber, daß dieselbe nur einen besonderen Fall eines allgemeinen Gesetzes bilde, und daß dasselbe sich gerade an den Voltaschen Platten am besten entwickeln lasse. Daher gilt es hier das Besondere aus dem Allgemeinen abzuleiten, damit dem Volta-Effekte das Ungewöhnliche, das er an sich zu haben scheint, gleich von vorn herein genommen werde.

Zu diesem Zwecke machen wir zunächst einige möglichst einfache Versuche, welche lehren, daß jedes von beiden Metallen, und zwar das

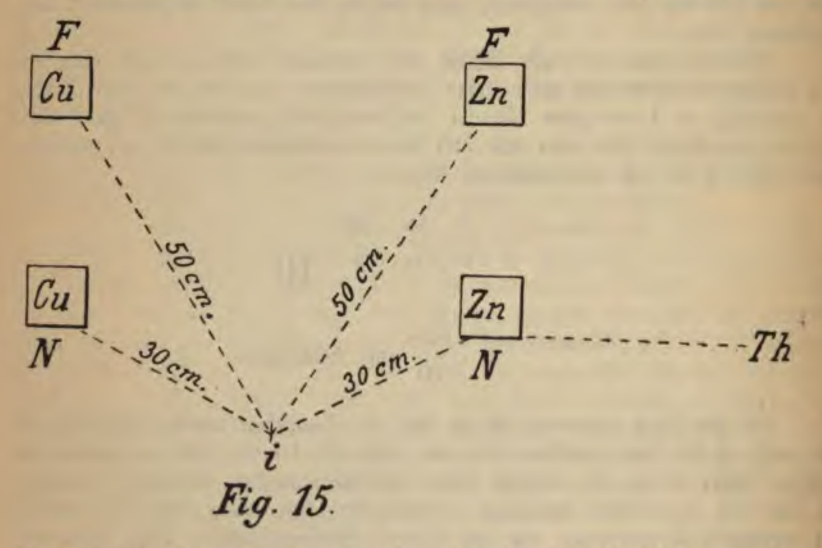


Fig. 15.

Zink viel leichter als das Kupfer, durch wiederholte Anwendung von Erwärmung und Abkühlung mittelst Probe IIa **positiv** statt negativ gemacht werden kann: Nämlich wenn ihre Anfangstemperatur ein wenig höher oder tiefer liegt als in dem bisher besprochenen Falle, wo jene bei mittlerer Wärme des Zimmers und des Experimentierenden durch EAWAW . . . . . . nur negativ wurden. Nach den folgenden Ausführungen wird aber, was in der obigen Einleitung zu diesem Kapitel dunkel erscheinen mag, nicht nur klar, sondern auch das Wesen der Elektrizität in ein neues Licht gerückt werden.

Am 3. Mai 1895 vormittags 8 Uhr setzte ich mich an den Arbeitstisch vor die nur $^1/_2$ mm dicke und 64 □ cm große, nicht lackierte Zink- und die gleichdimensionierte Kupferplatte, welche seit dem Abende vorher nicht wieder angerührt worden waren; sie stehen 50 cm voneinander und ungefähr eben so weit von mir entfernt, sagen wir auf dem Platze F und F vor i (Fig. 15). Das Zimmer ist ungeheizt und zeigt das Thermometer, das auf dem Tische

bei Th. liegt, 14°, während draußen 7° sind; doch fühle ich mich ganz warm, da ich mich ein paar Stunden vorher teils in etwas geheizten Räumen, teils im Garten im Sonnenscheine beschäftigte.

1. Das auf Platz F mit vorgestreckten Armen, während ich sitzen blieb und den Atem anhielt, mittelst Probe IIa untersuchte Kupfer ergiebt $0\ 0\ \underline{1}\ \underline{1^1/_2}$, das ebenso behandelte Zink aber $0\ \underline{1}\ \underline{3}\ \underline{5}$, also den normalen, auf der leichteren Erwärmbarkeit des Zinks beruhenden Unterschied in der elektrischen Erregbarkeit beider Metalle, und sei noch erwähnt, daß bei jeder Reihe von einer Berührung des Pendelblättchens mit der Nadel bis zur nächsten ca. 15 Sekunden, zwischen der Untersuchung des Kupfers und der des Zinks jedoch ca. 5 Minuten vergingen, und ich mich unterdessen weit zurücklehnte, damit der Tisch und die Luft sich möglichst abkühlen konnten. Schon hier muß bemerkt werden, daß diese schwachen Elektrizitätsgrade, die mit gewöhnlichen Hilfsmitteln fehlerfrei gar nicht nachgewiesen werden können, sich in wenigen Sekunden bez. sofort verlieren, also eine Ableitung der Platten, wenn man sie weiter gebrauchen will, überflüssig, ja störend ist (S. 36). 2. Etwa 6 Minuten später setze ich die Kupferplatte, indem ich sie unten an ihrem Glasfuße anfasse, nur 30 cm entfernt von mir auf den Platz N nieder, und nun ist sie $\underline{1}\ \underline{3}\ \underline{8}$, die Zinkplatte aber, die ich alsdann ebenso nahe vor mich hinstellte, nur $\underline{^1/_2}\ \underline{^3/_4}\ \underline{1}$, worauf beide wieder auf ihre alten Plätze F und F zurückgesetzt werden. Indessen ist mir durch den mehrfachen Gebrauch des elektrischen Glasstabes, wodurch ja die Negativität der Platten nachgewiesen wurde, merklich wärmer geworden, und als ich 3. ein paar Minuten nach ihrer Zurückstellung auf die Plätze F und F das Kupfer wieder prüfe, so ist es nicht, wie anfangs, dort schwächer, sondern, wie vorhin auf Platz N, stärker negativ als das Zink, nämlich $Cu = \underline{1}\ \underline{5}\ \underline{12}$ und $Zn = \underline{1}\ \underline{2}\ \underline{2}$. Sogleich hierauf setzte ich 4. beide Platten wieder auf die Plätze N N und nun ist das Zink daselbst nicht mehr negativ, sondern positiv, nämlich $Zn = 0\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{2}\ \underset{+}{4}$ während das Kupfer ebendaselbst sich wesentlich schwächer negativ, nämlich nur $\underline{2}\ \underline{3}\ \underline{6}$ zeigt. 5) Werden die Platten wieder auf die Plätze F F gestellt, und nach Verlauf von etwa 8 Minuten, in welcher Zeit ich, ohne aufzustehen, eifrig schrieb und dabei nicht kälter wurde, von neuem geprüft: Zwar sind beide wieder negativ, aber das Zink erweist sich wiederum viel schwächer negativ als das Kupfer, nämlich $Zn = \underset{+}{^1/_4}\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{2}$ und $Cu = \underline{2}\ \underline{6}\ \underline{12}$. Nachdem ich endlich 6. die Platten sogleich wieder auf die Plätze N N gesetzt habe, ist das Zink sofort positiv geworden, das Kupfer aber negativ geblieben: $Zn = \underset{+}{^1/_2}\ \underset{+}{2}\ \underset{+}{4}$ und $Cu = \underline{0}\ \underline{3}\ \underline{7}$.

Was ist nun bei den Versuchen von 1) bis 6) in Bezug auf Temperaturänderung geschehen? Jede von den beiden Platten ward von der warmen und immer wärmer werdenden Hand, jedesmal wenn diese ihren Fuß anfaßte, im Ganzen also sechsmal von unten her, mithin verhältnismäßig stark bestrahlt und während ihrer Bewegung durch die Luft wieder etwas

abgekühlt; ferner wurden sie auf N N von meinem ganzen Oberkörper viel stärker bestrahlt, als auf F F; endlich erfuhr eine jede Platte bei jeder Probe Erwärmung durch die Annäherung und Abkühlung infolge der Wiederentfernung der beiden Hände. Da nun die Erwärmungen offenbar stärker als die Abkühlungen ausfielen und die Bestrahlung der Platten durch den Oberkörper nie ganz aufhörte, so konnten sie im Laufe der gesamten Versuche nicht wieder so kalt werden, wie sie vor der allerersten Probe, nämlich der ersten von 1) waren; sie mußten sich aber plötzlich stark erwärmen, so wie sie in meiner Nähe, also auf N N gebracht wurden, und das umsomehr, wenn dies, wie bei 4) sogleich nach Beendigung der zu 3) gehörigen Proben geschah und sie unverzüglich wiederholt, mit II a geprüft, also mit Einschaltung von kleinen Remissionen fortgesetzt von den nur einige Zentimeter entfernten Händen bestrahlt wurden. Der hierbei uns überraschende Zeichenwechsel des Zinks, sein Positivwerden, kann also nichts anderes als die Wirkung dieser starken Temperaturerhöhung sein, die das so temperaturempfindliche Zink viel stärker erwärmte als das schwer erwärmbare Kupfer; und eben weil das Kupfer durch die sich bei 4) häufenden Wärmesteigerungen nicht so warm wie das Zink ward, blieb die Art seiner Elektrizität dieselbe und antwortete es darauf nur mit einer Schwächung seiner Negativität.

Nach diesen Erörterungen, die fürs Erste allerdings langweilig scheinen, dürfte alles übrige in dem Doppelversuche 1) bis 6) leicht verständlich sein: bei 2) und 3) war das Zink im Vergleiche zum Kupfer so auffallend schwach negativ, weil es infolge der fortgesetzten Wärmezufuhr den Höhepunkt seiner Negativität bereits überschritten hatte und unelektrisch werden wollte; der Elektrisierung des schwer erwärmbaren Kupfers war aber diese Wärmesteigerung gerade günstig, und darum wurde es bei 2) und 3) nicht nur stärker negativ als das Zink, sondern auch stärker negativ als bei 1). Vor den Proben bei 5) hatten beide Platten infolge ihres Fernstandes und der langen Pause zwischen 4) und 5) sich gut abkühlen können, sodaß auch das Zink nur negativ wurde; da es aber durch die große Temperatursteigerung, die 3) und 4) zusammengenommen verursachten, viel wärmer geworden war als das ungleich weniger temperaturempfindliche Kupfer, so blieb das Zink, trotz seiner Abkühlung auf F noch wärmer als dieses, so daß dasselbe, weil seine Temperatur durch die drei Proben nur relativ wenig gesteigert werden konnte, blos *schwach* negativ war. Daher ähnelt das Resultat bei 5) sehr jenem bei 3). Und daß diese Auffassung zutrifft, wird aus ähnlichen Fällen, die wir erst später bringen können, klar hervorgehen. Bei 6) endlich geschah nahezu dasselbe wie bei 4), und darum war auch hier der Erfolg der gleiche: *der Volta-Effekt.*

Am folgenden Tage früh 6 Uhr stehen dieselben Voltaschen Platten wieder $^1/_2$ m von mir und von einander entfernt auf dem Arbeitstische. Diesmal ist mir jedoch, obgleich die übrigen Temperaturverhältnisse ungefähr dieselben sind wie am Vortage, *viel kälter*, weil ich vor kurzen erst aufgestanden, noch nüchtern bin und nur in Räumen war, die um mehrere Grade kälter als das Arbeitszimmer sind, also noch undurchwärmte, kalte Kleider habe.

Ich untersuche die Platten, die auf F F (Fig. 15) stehen, von meinem Platze i aus wieder mit langen Armen und mittelst Probe II a: Sie werden heute aber nicht, wie gestern, negativ, sondern positiv, und zwar zeigt das Kupfer die Reihe $\underset{+}{1}\ \underset{+}{15}\ \underset{+}{10}\ \underset{+}{5}$, das Zink jedoch nur $0\ \underset{+}{10}\ \underset{+}{5}\ \underset{+}{2}$.

Allein zwei Minuten später auf Platz N gestellt ergiebt das Kupfer $0\ 0\ \underset{-}{1/2}\ \underset{-}{2}$, und das Zink gleichfalls, indessen viel stärker werdende Negativität, nämlich $0\ \underset{-}{4}\ \underset{-}{10}\ \underset{-}{15}$, und ungefähr in der Mitte zwischen F und N sind beide Platten mehrmals hintereinander unelektrisch.

Da sie auf dem fernen Orte F, wie gestern, zweifellos weniger als auf dem nahen Orte N erwärmt wurden, so ist diesmal durch die geringere Erwärmung Positivität, und durch die stärkere Erwärmung Negativität, also Negativität aus Positivität hervorgegangen, und nicht, wie gestern, Positivität aus Negativität.

Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung kann nur in dem einzigen wesentlichen Unterschiede zwischen den Umständen bei den gestrigen und heutigen Versuchen, also darin liegen, daß ich samt meinen Kleidern heute kälter bin, mithin weit weniger Wärme ausstrahle als gestern. Und darauf läßt sich sogleich die Probe machen.

Wenn ich nämlich hinaus in ein kälteres Zimmer an das offene Fenster gehe, wo nur etwa 10° Wärme sind und noch dazu der Wind herein bläst, ein paar Minuten daselbst verbleibe, dann wieder zurück in's Arbeitszimmer komme, also kalte Luft mitbringe und nun eine der Platten, z. B. das Zink, das noch auf N steht und unmittelbar vor meinem Weggange bis $\underset{-}{15^\circ}$ zeigte, untersuche, so erhalte ich $0\ \underset{+}{15}\ \underset{+}{20}$! Die Kupferplatte auf N, wo sie vorher bis $\underset{-}{2}$ war, ebenso behandelt, ergiebt als die schwerer erwärmbare zwar erst dreimal Null, dann aber gleichfalls Positivität, nämlich $\underset{+}{1/2}\ \underset{+}{5}$, im Ganzen also $0\ 0\ 0\ \underset{+}{1/2}\ \underset{+}{5}$. Allein nach ein paar Minuten — ich schrieb unterdessen ruhig auf i — liefern beide Platten, die unangerührt auf ihren Plätzen N und N stehen geblieben waren, durchaus keine Positivität mehr, sondern Negativität, und das ist offenbar die Folge davon, daß mir inzwischen, wie ich auch deutlich fühlte, wieder wärmer geworden ist.

Ein anderer, ebenso einfacher wie interessanter Kontrolversuch lehrt uns dasselbe. Wenn ich nämlich die Platten, die den Vormittag über im kühlen, blos 14° warmen Zimmer standen, das, wie ich nachtragen muß, außer dem Nordfenster nur ein Westfenster hat, und die, während ich beinahe friere, auf den Plätzen F und F durch wiederholte Anwendung der Probe II a positiv wurden, auf dem nämlichen Platze des Nachmittags, nachdem sie einige Minuten von der Sonne bestrahlt wurden, prüfe, so zeigen sie ausnahmslos 0 —, z. B. $0\ \underset{-}{10}$; wenn sich jene aber verhüllt, so werden sie auf denselben Plätzen, weil sie sich sofort abkühlen, alsbald wieder positiv, z. B. $0\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{2}\ \underset{+}{3}$!

Nach alledem ist das Wichtigste die Thatsache, daß die Elektrizität der Platten mit gewöhnlicher Zimmertemperatur ihr Ze[illegible] durch

Null gehend wechselt, sowohl wenn sie vor Einwirkung wiederholter Erwärmung und Abkühlung etwas höhere, als auch wenn sie vor denselben etwas niedrigere Anfangstemperatur besitzen. Bildlich dargestellt zeigt also die aus Neutralität entstandene Negativität, welche bei mittlerer Körperwärme an Volta-Platten, die nur Zimmertemperatur haben, auf Armesweite beobachtet wird, zu beiden Seiten Positivität, die gleichfalls aus Neutralität hervorging, wenn man auf die eine — wir nehmen die rechte — Seite das elektrische Produkt fortgesetzter Gesamt-Erwärmung, sagen wir die normale Positivität, und auf die linke Seite das auf dieselbe Weise, aber nachdem die Platten kälter geworden waren, gewonnene, gleich-falls positiv elektrische Produkt stellt, das die subnormale Positivität heißen mag. Dabei nehmen wir die zuerst beschriebene Negativität der Platten als **die normale Elektrizität** an (S. 31 Nr. 1), weil sie bei gewöhnlicher Temperatur des Zimmers und des Versuchanstellenden, sowie in derjenigen Entfernung, in welcher man mit denselben den Fundamentalversuch zu machen pflegt, nach Neutralität auftritt, und erhalten samt den aus ihr nach beiden Seiten hin hervorgehenden Umwandlungen **als Urbild fortschreitender Elektrizitätsentwicklung** die Zeichenfolge

$$0 + 0 \text{———} 0 + 0,$$

wobei die rechts neben dem negativen stehenden Zeichen der fortgesetzten Erwärmung, Abkühlung und Wiedererwärmung der schon vorher etwas erwärmten, und das linksseitige der E A W der vorher etwas unternormal temperierten Metallplatten entspricht

Diese Umwandlungen lassen sich, wie wir sogleich sehen werden, noch weiter verfolgen und geschehen so regelmäßig, daß sie den Inbegriff eines Gesetzes bilden, das wir **das elektrische Umwandlungsgesetz,** oder kurz **das Umwandlungsgesetz** nennen wollen. Zwar wurde ein solches noch von niemandem aufgestellt; aber seine Spuren finden sich bereits bei den verschiedensten Versuchen alter und neuer Forscher unverkennbar und unzählige Male vor.

Ich wiederhole:

Die erste, von mäßiger Bestrahlung durch den menschlichen Körper herrührende Elektrizitätserregung einer isolierten Zink- oder Kupferplatte bei normaler Temperatur ist **Negativität,** und wir nennen sie **die normale Negativität.** 2) Durch stärkere Bestrahlung mit Wärme entsteht zunächst Nullelektrizität, hieraus aber Positivität, die wir **die normale Positivität** nennen; 3) bei mäßig subnormaler Temperatur und schwächerer Bestrahlung als bei der normalen Negativität werden die Platten nicht negativ, sondern positiv, und das ist **die subnormale Positivität,** welche z. B. das Zink im Voltaschen Fundamentalversuche, wie schon oben (S. 19) bemerkt ward, annimmt, weil es sich durch die Trennungskälte bedeutend mehr abkühlt als das Kupfer, das darum auch seine ursprüngliche, normale Negativität behält. Im Bilde, d. h. geschrieben, hat die normale Negativität demnach sowohl zu ihrer rechten als auch zu ihrer linken Seite Positivität: die rechtsseitige, die normale Positivität, sinkt durch Null gehend zurück in die normale Negativität, wenn die Temperatur fällt;

und die subnormale Positivität erhebt sich, gleichfalls durch Null gehend, zur normalen Negativität, wenn die Temperatur steigt. Das Umwandlungsgesetz läßt sich aber an den Voltaschen Platten noch viel besser demonstrieren, wenn die Temperatur fortwährend steigt oder fällt, und erhellt dabei ganz deutlich, daß die Elektrizität wirklich, wie in der Vorrede angekündigt ward, sich ähnlich einem schwingenden, nach dem einen Ende hin kälter und nach dem anderen hin wärmer werdenden Seile verhält, an dessen Knotenpunkten Nullelektrizität anzutreffen ist.

Kapitel VI.

Erwärmung der Voltaschen Platten 1) mit der flachen Hand; 2) durch die brennende Lampe.

Hierauf müssen wir zuvörderst untersuchen, wie die Platten sich verhalten, wenn sie von Zeit zu Zeit beträchtlich stärker, als es bis jetzt meist geschah, erwärmt werden.

Zu diesem Zwecke stehen ganz dieselben, die wir am 3. und 4. Mai (S. 30 u. 32) benutzten, am 20. Mai, nachmittags 3 Uhr im 15° warmen Zimmer wieder auf dem Tische, und wird der Differenzialversuch, jedoch ohne Vorsichtsmaßregeln, so weit geführt, daß das Kupfer nach 0 erst 3, dann 5 mm negativ = $0\ \underset{-}{3}\ \underset{-}{5}$, das Zink aber bereits positiv, nämlich erst 1, dann 3, dann 4 mm positiv = $\underset{+}{1}\ \underset{+}{3}\ \underset{+}{4}$ ist. Hierauf stelle ich das letztere 1 m von mir abseits und verfahre, um zunächst das Kupfer, das auf seinen von mir 30 cm entfernten Platze stehen blieb, stärker als bisher zu erwärmen, folgendermaßen.

Die normal warme Hand wird, mit ihrer Innenfläche nach unten, horizontal über die Kupferplatte in einem Abstande von 2—2½ cm zuerst eine Sekunde lang gehalten, und die letztere, ohne viel Zeit zu verlieren, mit IIa zweimal geprüft. Hierdurch wurde also eine große Erwärmung = E_1 nebst einer darauffolgenden kleinen Abkühlung = a und sofort (durch die Untersuchung mit dem Pendel) W A W, im Ganzen also E_1 a W A W gesetzt. Alsdann geschah nochmals dasselbe. Hierauf erwärmte ich das Kupfer in der angegebenen Weise mit der flachen Hand 2 Sekunden lang und untersuchte es wieder zweimal, sodaß es E_2 a W A W empfing. Dann ward wiederum stark, und zwar noch mehr als vorher, nämlich 3 Sekunden lang erwärmt, und dieser E_3 a folgten E A W A W;

danach wandte ich E a_4 W A W, dann E a_6 W A W A W, und endlich E a_4 W A W A W an, worüber im Ganzen ca. 20 Minuten vergingen.

Das Gesamtergebnis veranschaulicht die obere Reihe der untenstehenden Tabelle.

Jetzt bringe ich die Kupferplatte fort, setze an ihre Stelle die Zinkplatte, kühle mich im Nebenzimmer, das um einen Grad kälter ist, 9 bis 10 Minuten ab und durch mein Fortgehen auch zugleich den Tisch und die Instrumente, mache, zurückgekehrt, die Zinkplatte zunächst wieder wie am 3. Mai durch wiederholte Proben mit II a auf F (Fig. 15) erst negativ, dann durch solche auf N (ebendas.) 4—5 mm positiv und behandle sie nun anfangs ganz so wie das Kupfer; alsbald aber kürze ich die Erwärmungen mittelst der flachen Hand relativ zu jenen des Kupfers ab, weil ich bereits wußte, daß zu der beabsichtigten Herstellung, fortlaufenden Zeichenwechsels beim Zink wesentlich schwächere Erwärmungen genügten.

Das Gesamtergebnis obiger Versuche mit dem Zink zeigt die untere

Tabelle I.

	1‴	1‴	2‴	3‴	4‴	6‴	4‴ E
Cu 5	2 3	2 4	2 4	0 1 3	0 1	0 1 3	1 2 3
—	— —	— —	— —	— —	—	+ +	+ + +

	1‴	1‴	2‴	2‴	3‴	4‴	4‴ E
Zn 5	1 3	0 1	1 1	0 1 10	1 8	0 1 4	0 0 1½ 1½
+	+ +	+	+ +	— —	— —	+ +	— —

Reihe der Tabelle auf, und die Vergleichung beider mit einander ergiebt Folgendes.

1. Beide Platten wechseln durch wiederholt erneute und immer stärkere, aber von regelmäßigen Abkühlungen unterbrochene Wärmezufuhr in der That ihr Zeichen. 2. Das Kupfer wird durch die Erwärmungen und Abkühlungen E a W A W, E a W A W — — — viel später positiv als das Zink negativ wird, nachdem es durch dieselben Temperatursteigerungen, wobei das Kupfer noch negativ blieb (S. 31 4. u. 6.), bereits positiv geworden war. Denn zur Erzielung des Zeichenwechsels beim Kupfer waren 1 plus 1 plus 2 plus 3 plus 4 plus 6 Sekunden anhaltende starke Erwärmung durch die flache Hand = 17‴ lang E E, dagegen zur Hervorbringung des Zeichenwechsels beim Zink nur 1 plus 1 plus 2 plus 2 Sekunden = 6‴ E E erforderlich. 3. Das normal negativ gemachte Kupfer wechselt sein Zeichen nach 21‴ E E nur einmal, das Zink aber nach 17‴ E E dreimal, sodaß, schematisch dargestellt und das Ergebnis des den Anfang machenden Differenzialversuches mitgerechnet, das Zink o — o + o — o + o —, das Kupfer aber trotz stärkerer Wärmezufuhr nur o — o + ergab.

Bei beiden Metallen ist die erste Negativität und die darauf folgende erste Positivität die normale; da wir beim Zink aber durch stärkere, immer von Nachlässen unterbrochene Wärmezufuhren alsbald noch o — o + o —

erhielten, so kann die auf die normale Positivität folgende Negativität die erste obere Negativität, ferner die auf diese folgende Positivität die erste obere Positivität u. s. w. heißen.

Noch weiter nach oben fortgesetzt sehen wir die Umwandlung der durch E a W, oder E a W A W oder E a W A W . . . hervorgerufenen Negativität in Positivität, und der Positivität in Negativität beim Kupfer und Zink in den folgenden Versuchsreihen, die ich am 21. Mai 1895 V. $7'_{45}$ bis $8'_{40}$ bei $14^1/_2{}^\circ$, 35 cm Abstand und während mir anfangs normal warm war, aber schließlich heiß wurde, analog dem vorigen gewann (s. Tabelle II). Indessen brachte ich das Zink vorher nicht durch plötzliche Versetzung aus der Ferne (F) in größere Nähe (N) auf positiv, sondern überließ diesen Prozeß der darüber gehaltenen flachen Hand. Und in der That wurde das Zink, ohne daß ich von der normalen Negativität, die nach schwächeren Erwärmungen und bei normal warmem Körper ja stets erscheint, etwas zu sehen bekommen konnte, schon nach $^1/_5{}'''$ E a W A plus $^2/_5{}''$ E a W A W*). Zu Anfange vermag also schon eine nach Lage der Sache außerordentlich kurze Bestrahlung durch die sehr genäherte Hand den ersten Zeichenwechsel beim Zink so schnell zu bewerkstelligen, daß er sich unserer Beobachtung völlig entzieht; daher glaubt, wer von ihm nichts weiß, natürlich felsenfest, daß das Zink unter diesen und ähnlichen Umständen nicht, wie das Kupfer, erst negativ, sondern daß es sogleich positiv werde.

Indessen nur zu Anfange geschieht der Zeichenwechsel so schnell. Dies ergiebt sich sehr schön aus den in der Tabelle III niedergelegten Beobachtungen,

Tabelle III.

	$\frac{1}{5}'''$	$\frac{2}{5}'''$	$1'''$	$1'''$	$2'''$	$2'''$	$2'''$	$2'''$	$3'''$	$3'''$
Cu	0	0 —3 —6	0 —3 —5	—1 —2 —3	0 —2 —5	—2 —2 —6	—1 —1 —$\frac{1}{2}$	—1 —3 —8	—1 —1 —1	0 0 0

	$\frac{1}{5}'''$	$\frac{2}{5}'''$	$1'''$	$1'''$	$2'''$	$2'''$	$2'''$	$2'''$	$3'''$	$3'''$
Zn	+1½	+1½ +6 +8	+½ +1 +2	+½ +½ +½	+1 +2 +1½	+1½ +1½ +5	+2 +3 +1	+½ +3 +1	0 0 0	0 0 0

die ich am selben Morgen bereits zwischen $5'_{50}$ und $6'_{30}$ anstellte, und ist auch leicht verständlich, weil nach wiederholten Bestrahlungen durch die Hände und nach der fortwährenden, durch den übrigen Körper die Platten sich nicht wieder bis zu ihrer Anfangstemperatur abkühlen können — ein Thermometer, das nur 15° zeigt, geht sofort in die Höhe, wenn man sein Gefäß zwischen zwei Finger nimmt; aber schon Sekunden vergehen, ehe das Quecksilber durch denselben Griff merklich steigt, wenn es auf 20° steht! Es ist

*) Da nämlich gerade eine Sekunde vergangen ist, wenn man so rasch wie möglich bis auf fünf gezählt hat, so lassen sich Fünftelsekunden noch sehr gut abmessen.

wie bei den organisierten Wesen: Um die Wirkung eines Reizes mehrmals in rascher Aufeinanderfolge zu bekommen, muß man ihn steigern. Aus demselben Grunde war es, wie namentlich Tabelle II zeigt, auch notwendig, daß

Tabelle II.



	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n
	$\frac{1}{5}'''$	$\frac{2}{5}'''$	10‴	5‴	5‴	10‴	10‴	10‴	15‴	15‴	20‴	25‴	30‴
Cu	0	0	0	0	0	0	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	0	0	0	0	$+\frac{1}{2}$
			−2	−1	+1	−2	+1	+1	$-1\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	+1
		−2	−4	−1	+4	−4	+1	+3	−3	+1	−1	0	$+1\frac{1}{2}$

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r	s
	$\frac{1}{5}'''$	$\frac{2}{5}'''$	10‴	5‴	5‴	5‴	5‴	5‴	5‴	5‴	5‴	8‴	8‴	10‴	15‴	20‴	25‴	30‴
Zn	0	0	0	0	0	0	$-\frac{1}{4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		$+\frac{1}{2}$	+1	$-\frac{1}{2}$	−5	0	−5	$+\frac{1}{2}$	0	0	0	0	$+\frac{1}{2}$	−1	+2	−4	+2	$-1\frac{1}{2}$
			$+3\frac{1}{2}$	$-3\frac{1}{2}$	−5	$+\frac{1}{2}$	−10	+2	−2	$-\frac{1}{4}$	$+\frac{1}{2}$	−1	+1	$-3\frac{1}{2}$	+3	−5	+1	−6
						$+2\frac{1}{2}$		+7	−4	$-\frac{1}{2}$	+7	$-3\frac{1}{2}$	+1	−8	+5	−4	+1	−7

die Hand schließlich immer länger über die Platten gehalten werden mußte, um den Zeichenwechsel zu beschleunigen oder überhaupt zu erzielen.

Allein, warum wurde denn in Tabelle II auf die nur $^2/_5$ Sekunde dauernde Erwärmung sogleich eine mehr als zwanzigmal stärkere, nämlich die von zehn Sekunden genommen? Dies hatte einen eigenen Grund. Am 21. Mai, wo die Doppelreihen der Tabellen II und III beobachtet wurden, war die relative Feuchtigkeit des Zimmers viel größer als am Vortage, wo ich jene der Tabelle I erhielt. Am 21. früh betrug die R F im Zimmer 60 %, am 20. aber kaum 35 %! Der Grund, warum man den Glas- oder Harzstab, wenn er bis zu einem gewissen Grade elektrisch werden soll, bei nassem Wetter viel mehr reiben muß als bei trockenem, war auch hier die Ursache davon, daß der Zeichenwechsel, wie Tabelle III zeigt, weder nach zwei Haupterwärmungen von je einer Sekunde, noch nach vieren von zwei Sekunden, ja sogar nicht nach einer solchen von drei Sekunden erschien. Feuchte Luft und feuchte Gegenstände erwärmen sich viel schwerer als trockene. Waren aber die Platten einmal durch die ununterbrochene Wärmezufuhr von zehn Sekunden verhältnismäßig sehr stark erwärmt, so genügte zur Erlangung des ersten Wechsels beim Zink (d) eine nur einmalige halb so lange Bestrahlung, also eine solche von 5‴; beim Kupfer jedoch war eine zweimalige von je 5‴ erforderlich (e). Der zweite Wechsel kam beim Kupfer nach wiederum 10‴ langer Erwärmung (f); dem Zink aber hatte ich doch zuviel zugetraut: Statt nur 5‴ hätte ich etwa 8‴ nehmen müssen, weil sein zweiter Wechsel erst nach abermaliger Anwendung von 5‴ (f) zustande kam, u. s. w.

Fassen wir nun endlich das Resultat der gewiß imposanten, der Tabelle II zu Grunde liegenden Untersuchungen zusammen, so ergiebt sich

Zn = 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 −

Cu = 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 +

und betrug die Dauer der summierten Einzelerwärmungen durch die flache

Hand beim Zink nur 136, beim Kupfer aber wesentlich mehr, nämlich 155 Sekunden.

Das Zink wechselte also vermöge seiner leichteren Erwärmbarkeit schon nach schwächeren, von Abkühlungen unterbrochenen Erwärmungen viel öfter als das Kupfer bei stärkeren; denn jenes gab 13, dieses aber nur 7 Wechsel.

Die Sache, um die es sich bei diesen Auseinandersetzungen handelt, ist schließlich durchaus einfach, die Darstellung jedoch umständlich, wenn sie ohne exakte Temperaturmessungen, die einer allein jedenfalls nicht ausführen kann, Beweiskraft haben soll.

Hiernach ist es höchst wahrscheinlich, daß der Zeichenwechsel auch noch weiter fortgeht, wenn entsprechend stärker erwärmt und diese Temperaturerhöhung durch interkurrente kleinere Erwärmungen, denen stets eine gewisse Abkühlung folgt, gesteigert wird. Entsprechend stärker muß erwärmt werden; denn das Ende der Kupferreihe in Tabelle II läßt erkennen, daß auch in höheren Temperaturlagen, die zur Erzeugung des nächsten Wechsels erforderliche Wärmezunahme bei dem bis dahin schwerer erwärmbaren Kupfer erheblich größer ist als beim Zink.

Schließlich zeigt der ganze Verlauf der Elektrisierung durch fortgesetzte, von regelmäßigen Abkühlungen unterbrochene Erwärmungen eine unverkennbare Aehnlichkeit mit den Oszillationen, mittelst welcher ein mehr oder weniger stark elektrischer Leiter z. B. eine Leydener Flasche, sich entladet, und läßt vermuten, daß die Ladung, welche mittelst Aneinanderreihung vieler einzelner Elektrizitätserzeuger (Elemente), nach dem Vorbilde der Voltaschen Säule, dadurch so sehr verstärkt wird, daß die Gesamterwärmung der Vorrichtung, unbeschadet der Wirkung der, wenn auch in diesem Sinne unabsichtlich eingeschalteten Kältequellen, mit der Zahl der einzelnen Wärmequellen zunimmt. Die Abkühlungen aber werden hier, bei Volta's Säule, durch die wässerige Flüssigkeit bewirkt, die sich zwischen den verschiedengradig, im Verhältnisse zum Wasser jedoch außerordentlich leicht erwärmbaren Metallen befindet, weil jene infolge der sehr hohen spezifischen Wärme des Wassers lange Zeit viel kälter bleiben muß, als jedes der beiden Metalle. Tauche ich z. B. ein Stück Zink in Wasser, dessen spezifische Wärme ja mindestens zehnmal so groß ist wie jene des ersteren, so habe ich es zuvor und unabsichtlich durch mich selber erwärmt, kühle es aber sofort im Wasser ab, sodaß Elektrizität entsteht, und diese ist der Urquell des nunmehr vorsichgehenden und selbst wieder Wärme erzeugenden Chemismus. Im nächsten Augenblicke, oder im nächsten, wenn auch noch so kleinen Bruchteile einer Sekunde nach der ersten elektrischen Erwärmung also Wiedererwärmung des zuvor abgekühlten Metalles, wird es nun durch das Wasser sofort wieder, und zwar verhältnismäßig stark abgekühlt, also von neuem elektrisch, um im folgenden Zeitteilchen, Dank der wiederum entstandenen Elektrizität, zum zweiten Male erwärmt zu werden, u. s. f.

Die auf den vorhergehenden Seiten entwickelten, gesetzmäßig auftretenden Umwandlungen der einen Elektrizitätsart in die andere, sowie die merkwürdigen, so regelmäßig auf einander folgenden, eingeschalteten Nullpunkten gleichenden Unterbrechungen, bei der Entladung der Leydener Flasche führten

von selber zu der obigen Auffassung der Elektrizitätserregung in der Voltaschen Säule und Kette, und wollte ich meine Meinung darüber so bald wie möglich äußern, weil diese Apparate, obgleich sie schon recht kompliziert sind, gegenwärtig von den meisten, die sich mit Elektrizitätserregung und den damit verwandten Fragen beschäftigen, weitaus höher geschätzt werden als der Voltasche Fundamentalversuch. Gerade dessen Studium erschließt uns aber die Thatsachen, aus welchen die Elektrizitätserregung in den elektrischen Elementen sich erst, und zwar ziemlich leicht erklären läßt.

Trifft nun die oben ausgesprochene Vermutung zu, daß die Platten auch bei Temperaturen, die zweifellos höher sind als die bisher besprochenen, durch plötzliche Wärmezuschüsse, denen sofort wieder Abkühlungen folgen, nicht nur ein Mal elektrisch werden, sondern auch fortgesetzt ihr Zeichen wechseln, wenn die Steigerung der Temperatur, in welcher sie sich befinden, anhält, so muß sich dies vor allen Dingen bei ihrer Bestrahlung durch diejenigen Wärmequellen bestätigen, welche die Durchschnittstemperatur des Zimmers, der sog. Zimmerwärme, derart zu erhöhen imstande sind, daß man die Wärmesteigerung deutlich fühlt und thermometrisch leicht nachweisen kann. Ich meine vor allen Dingen die brennende Lampe. Um diese Beobachtungen genau machen zu können, muß man freilich mehr Raum und vollkommenere Einrichtungen haben als ich; indessen läßt sich auch im engen Zimmer und auf nur mittelgroßem Tische das Wesentliche, worauf es ankommt, zeigen.



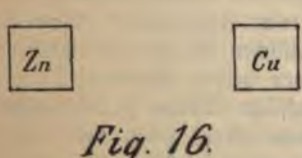


Fig. 16.

Eine gewöhnliche Petroleumlampe mit Zylinder, Glasglocke und größtem Brenner, wird auf dem Korridore, wo es nur ca. 12° Wärme sind, angebrannt, sofort herein in das 22° warme Zimmer gebracht, und mir gegenüber auf den Tisch, wo bereits die 2 mm dicke Zink- und Kupferplatte ca. 30 cm von einander und von mir entfernt stehen, derart gesetzt, daß der Abstand der Lampe von jeder der beiden Platten, d. h. die horizontale Entfernung ihres Mittelpunktes von der durch den Zylinder gehenden Vertikalen ca. 30 cm beträgt (Fig. 16).

Es soll also, da wiederum die beiden beim Voltaschen Fundamentalversuche am allermeisten zur Anwendung kommenden Metalle dastehen, zugleich der elektrische Differenzialversuch nach Möglichkeit weiter geführt werden. Indessen gelingt er nur zu Anfange und zwar darum, weil die Platten der schon ziemlich starken Wärmequelle verhältnismäßig nahe sind, mithin die Erwärmung so schnell zunimmt, daß man von der Prüfung des einen Metalles bis zu der des andern zu viel Zeit verliert, um beiderseits bei annähernd gleicher Wärmezufuhr arbeiten zu können; und damit diese Er-

wärmung in beschränktem Raume, der jene erheblich beschleunigt, nicht allzu schnell geschehe, wurde nicht eine bereits erhitzte Lampe genommen, sondern das allmähliche Wärmerwerden derselben nach dem Anbrennen benutzt. Die Hauptabsicht ist jedoch, wie gesagt, darzuthun, daß jede der beiden Platten bei schnell zunehmender und relativ starker Erwärmung zunächst überhaupt elektrisch, dann entgegengesetzt elektrisch werde u. s. f.; zu diesem Zwecke nähere ich sie der Hauptwärmequelle, der Lampe schrittweise, lassesie aber auf jedem Ruhepunkte ca. zehn Minuten stehen, nnd diese Ruhepunkte, die verschiedenen immer kleiner werdenden Abstände, betrugen 30 cm, 15 cm, 8 cm und 5 cm.

Interessant ist nun zunächst, daß die erste Elektrizitätsart, die erscheint, ebenso, wie wenn die Erwärmung nur durch den normal warmen Körper geschieht, Negativität, wahrscheinlich die als normale Negativität bezeichnete ist, weil die Lampe unter den gegebenen Umständen anfangs nur sehr wenig zur Erwärmung der Platten beitragen kann. Nachdem die Lampe nämlich $1^1/_2$ Minuten auf dem Tische gestanden hatte, wurde zuerst das Zink, und $^1/_2$ Minute später auch das Kupfer negativ, beide jedoch schon bei der zweiten IIa Probe stark, bez. sehr stark negativ, das Kupfer an $\underset{-}{15}$, das Zink an $\underset{-}{30}$, und diese auffallende, in so kurzer Zeit erreichte Intensität der ersten Elektrizität der Platten kommt, abgesehen davon, daß sie — im Zimmer von 22° — schon vorher erheblich wärmer als gewöhnlich waren, zweifellos größtenteils auf Rechnung ihrer Bestrahlung durch die Lampe: denn ist der Versuchanstellende die alleinige Wärmequelle, so liefert auch das beste Pendel so rasch dergleichen große Ausschläge nicht, es sei denn, daß er sehr viel Wärme ausstrahlt und die Luft nicht außergewöhnlich trocken ist. Sehr schnell aber nahm die Negativität bei jeder der beiden Platten ab und wurde nach Verlauf von etwa vier Minuten Null, um ein paar Minuten später auf demselben Platze sich in wiederum rasch zunehmende Positivität zu verwandeln. Diese Umwandlung geschah beim Zink wieder etwa $^1/_2$ Minute früher als beim Kupfer und wurde das letztere höchstens $\underset{+}{10}$, das erstere jedoch an $\underset{+}{20}$. Auch die Positivität nahm an Stärke rasch ab, erhielt sich aber noch verhältnismäßig lange und wollte, nachdem sie drei bis vier Minuten Stand gehalten hatte, kaum in Null übergehen. Daher schloß ich, daß die beiden Metalle auf dem Platze, den sie nun schon zehn Minuten inne hatten, höchstens noch sehr langsam wärmer würden, und damit eine rasche Temperatursteigerung, wovon allein der höher liegende Wechsel zu erwarten war, eintrete, schob ich nun beide Platten bis auf 15 cm an die Lampe heran.

Auf dem Platze 2 d. h. bei 15 cm Abstand stellte sich nun augenblicklich Null, alsbald die schönste Negativität — beim Zink wiederum etwas eher als beim Kupfer — ein, und verlief das weitere ganz ähnlich wie auf dem ersten Platze. Daher versetzte ich die Platten, nachdem sie daselbst wiederum zehn Minuten gestanden hatten, auf Platz 3, erhielt hier ganz dasselbe wie auf 2, und schließlich bekam ich auch auf 4 erst Negativität, dann Positivität. Das Elektrizitätsbild von jeder der ruckweise immer wärmer

werdenden, zwischendurch jedoch ebenso oft — nämlich bei Entfernung der Hände — sich abkühlenden Platten war also:

$$0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 +.$$

Hätte ich nun die Haupterwärmung der Platten, nachdem sie der Lampe in horizontaler Richtung nicht weiter genähert werden konnten, dadurch noch mehr gesteigert, daß sie auf ihrem letzten Orte stufenweise höher gestellt, mithin dem Wärmezentrum in vertikaler Richtung immer mehr genähert worden wären, so würden, wie frühere Versuche ergaben, noch mehr Wechsel zustande gebracht worden sein. Indessen verzichtete ich jetzt darauf, weil ich noch etwas anderes vornehmen, nämlich den Versuch umkehren, also den Abstand der Platten von der Lampe schrittweise wieder vergrößern wollte

Nachdem die letzte Positivität der auf dem Platze 4 befindlichen Platten sehr schwach geworden war, aber auch nicht ganz verschwinden wollte, ließ ich die Lampe, während jene ruhig stehen blieben, zurückziehen; nämlich zunächst von 5 cm auf 8 cm, dann bis auf 16, 28, 40 und 120 cm Abstand, sie aber auf jedem dieser fünf Punkte vier bis fünf Minuten stehen.

Als die Entfernung der Platten von der Lampe sich zunächst nur um 3 cm vergrößert hatte, also 8 cm betrug, waren beide sogleich unelektrisch, wurden aber, und zwar das Zink schon nach 1 Minute, das Kupfer indessen erst nach 2 Minuten, negativ; das erstere bis $\underline{20}$, das letztere nur bis $\underline{10}$. Diese Negativität nahm zwar bald ab, aber sie sank nach Ablauf von 5 Minuten weder beim Zink noch beim Kupfer auf Null herab. Daher wurde die Lampe bis auf 16 cm zurückgenommen und augenblicklich waren sie unelektrisch; alsbald jedoch wurden sie positiv, und wieder das Kupfer viel später und schwächer als das Zink. Nachdem nun auch auf diesem Platze alles ganz ähnlich wie auf dem vorhergehenden verlaufen und die Entfernung der Lampe von den Platten bis auf 28 cm vergrößert worden war, wurden sie aus Null abermals negativ und das Zink wieder früher und stärker als das Kupfer; bei 40 cm Abstand positiv und bei bis auf 120 cm vergrößerter Entfernung der Lampe von ihnen zum dritten Male negativ —— immer so, daß das Kupfer wesentlich später und in geringerem Grade die neue Elektrizitätsart annahm als das Zink.

Während also die Temperatur der Platten stufenweise stark herabgesetzt, dann durch die Annäherung und Entfernung der Hände bei den II a Proben wiederholt von neuem erwärmt und abgekühlt wurden, wobei der Unterschied in der Erwärmbarkeit beider Metalle bis zuletzt sehr auffallend blieb, ergaben sie die Elektrizitätsfolge

$$0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0.$$

Die letzte Nullelektrizität wurde nämlich wirklich und zwar mehrere Minuten lang beobachtet; alsdann aber erschien bei beiden Platten wieder Negativität, nämlich beim Zink $\underline{1}$ $\underline{2}$ $\underline{4}$ $\underline{4}$, und beim Kupfer noch weniger. Dies war zweifellos nur die Wirkung von E A W A W . . . durch meinen Körper, nachdem die Platten bei der großen Entfernung von der Lampe das Maximum ihrer Abkühlung nach der Erwärmung durch diese erreicht hatten. Denn die neue Negativität war viel schwächer als die letzte der obigen Reihe, und wenn diese durch die E A W A W . . . mittelst der Hände allein

entstanden wäre, so hätte die neue Negativität, die nur bis auf 4 mm zu bringen war, füglich ebenso stark werden müssen wie die alte, weil mir seitdem durchaus nicht kälter geworden war.

Aus dem Ergebnisse schrittweiser Entfernung der Wärmequelle folgt also: Auch wenn die allgemeine Temperatur plötzlich sinkt, entsteht durch die interkurrende Wiedererwärmung, Abkühlung, Wiedererwärmung u. s. f. Elektrizität; dieselbe wechselt nicht blos, wenn die Hauptbestrahlung nur ein Mal schnell schwächer wird, ihr Zeichen, sondern auch bei jedem folgenden derartigen Nachlasse.

Demnach beweisen die in mehrfacher Hinsicht sehr wertvollen Beobachtungen, aus denen die letzte Reihe o — o + o — o + o — o hervorging, zugleich die Giltigkeit des elektrischen Umwandlungsgesetzes nach unten, wenn auch in übernormaler Temperaturlage. Zu den entsprechenden Versuchen bei unternormaler und stetig abnehmender Temperatur gehören freilich besondere Einrichtungen; doch würden derartige Arbeiten, wie ich aus diesbezüglichen schwachen Anfängen sehe, wahrscheinlich viel Interessantes liefern

---

Kapitel VII.

Durch die kleinste Berührung entsteht Elektrizität, wenn dabei Erwärmung und unmittelbar nachher Abkühlung stattfindet.

Die Lampenglocke. Das Goldschaumpendel kann zugleich das einzige Untersuchungsobjekt sein. Elektrizitätserregung durch Behauchung. Hauchbilder.

Es ist sehr merkwürdig, daß Elektrizität, und zwar ihr Zeichen wiederholt wechselnde Elektrizität auf eine Weise erzeugt werden kann, die so aussieht, als ob man mittelst des Mikrokondensators nur die Luft auf Elektrizität untersuchen will, ohne daß eine Elektrizitätsquelle vorhanden ist. In diesem Falle aber bildet das Pendelblättchen zugleich das einzige Untersuchungsobjekt, und sind die Elektrizitätsursachen wieder nichts anderes als die Erwärmungen und Abkühlungen, welche es bei den wiederholten Berührungen mit der Nadel erfährt.

Auf diese Versuche kam ich seiner Zeit durch eine Entdeckung, die mich außerordentlich überraschte und schnell vorwärts brachte, weil sie meinen Ideen erst eine feste Grundlage gab; denn auf ein Mal sah ich in der allereinfachsten und unzweideutigsten Weise das an den Voltaschen Platten Erlernte bestätigt, nämlich — und es muß immer wieder gesagt werden — erstens, daß rasche von Abkühlungen unterbrochene Temperaturzunahme die Ursache der Elektrizität überhaupt ist; zweitens, daß die Art der Elektrizität

von der Höhe der Temperatur abhängt, und drittens, daß sich Negativität aus Positivität und Positivität aus Negativität, nachdem sie zuvor bis auf Null herab„ bez. hinaufgegangen war, entwickelt.

Es ist das die bereits in der Vorrede erwähnte, zuerst am 23. Dezember 1893 abends im geheizten Zimmer gemachte Beobachtung, daß der Pendelkondensator einesteils in der Nähe des sich rasch erwärmenden Glockenhalses einer soeben angebrannten Zimmerlampe Positivität, aber gegenüber dem viel weniger warmen untern Glockenrande Negativität zeigt;*) und daß unser Elektroskop anderenteils in geringerer oder größerer Entfernung von dem Wärme ausstrahlenden Ofen auf dem geraden Wege von diesem bis zum Fenster sogar zweimal die Folge o — o + nachweist.

Bei der Lampe, womit der Versuch am einfachsten herstellbar ist, sind aber zwei Fälle zu unterscheiden: 1. ob sie schon mehrere Minuten brannte, der Experimentierende sich dabei in einem normal warmen Zimmer befindet und gleich anfangs warm ist; und 2. ob der Arbeitsraum eine ungewöhnlich niedrige Temperatur hat, man in kalten Kleidern hereingekommen ist, an die Hände friert und die Lampe, die zuvor in einem noch kälteren Raum stand, auf dem Arbeitstische soeben erst angebrannt wird.

Erster Fall. Unter diesen Umständen erreicht die Lampenglocke an ihren von der Stichflamme mehr oder weniger entfernten Teilen rasch das Maximum ihrer Erwärmung, und infolgedessen auch der in ihre Nähe gehaltene Pendelkondensator; daher zeigt sich nicht, wie oben bei den Voltaschen Platten, wenn sie nur durch den menschlichen Körper oder bei schrittweiser Annäherung an die brennende Lampe, also verhältnismäßig langsam erwärmt werden, eine längere Folge von o — o + o —, sondern, und zwar schneller als man die Entwickelung genau verfolgen kann, in der wärmsten Region stets nur Positivität, in der kältesten stets nur Negativität und auf der Grenze zwischen beiden ausnahmslos einen Streifen, richtiger einen Ring von Neutralität. Ein Blick auf Figur 17, die einer wirklichen Sitzung im 15° warmen Zimmer nachgebildet ist, sagt alles; hinzufügen will ich nur, daß die Negativität sich schief nach abwärts bis auf $1^1/_2$ m und nach aufwärts bis über 2 m Entfernung erstreckte, sodaß das Pendel über dem Tische nur dadurch vollkommen unelektrisch gemacht werden konnte, daß es auf einen sehr gut abgeleiteten Leiter gelegt und gleichzeitig von oben oder am Rande mit der Nadel leitend berührt wurde.

---

*) An der betr. Stelle der Vorrede wurde gesagt, das mit dem abgeleiteten Leiter berührte Pendel sei oben neben der Glasglocke negativ und unten neben derselben positiv, alsbald aber hinzugefügt, daß, weil Uebertragung der verstärkten Influenzelektrizität auf das Goldblättchen stattfand, die ursprüngliche Elektrizität des letzteren mit dem entgegengesetzten Zeichen zu verstehen sei. Im eigentlichen Texte der Abhandlung habe ich aber, um es nochmals (vgl. Einleitung, S. 16) zu betonen, dem Leser die Umkehrung des Zeichens erspart; daher spreche ich, wenn das von der Nadel berührt gewesene Pendelblättchen negativ ist, also vor dem Harzstabe fortgeht, der Kürze halber sogleich von Positivität; und von Negativität, wenn das so behandelte Pendel vom positiven Glasstabe abgestoßen wird, also positiv ist.

6 mm.

Tischplatte.

Fig. 17.

Da die Wärmestrahlung der Lampe durch eine schirmartige Vorrichtung sich augenblicklich bedeutend vermindern läßt, so braucht man nur ein paar übereinander liegende getrocknete große Baumblätter, deren Stiele zu einem flachen Ganzen zusammengebunden sind, mittelst eines Drahthakens auf den Zylinder zu hängen, um die Positivität oben am Glockenhalse sofort in Negativität zu verwandeln.*) Durch Niederschrauben des Dochtes aber gelingt die Verwandlung der Positivität in Negativität nicht so prompt, und zwar offenbar darum, weil der Glockenhals unter diesen Umständen sich zu langsam abkühlt. Noch manches andere kann man an der brennenden Lampe lernen; indessen führt das hier zu weit und erfordert eine viel genauere Beschreibung der obwaltenden Verhältnisse.

Zweiter Fall. Hier dauert es lange bis in der Nähe ihrer Einschnürung die Lampenglocke und der Experimentierende selber nicht mehr viel wärmer wird, sodaß der Pendelkondensator noch lange Zeit nach jeder neuen Annäherung desselben an jene sich immer noch mehr erwärmt als bei der vorhergehenden, weil er in der Zwischenzeit zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Proben jedesmal etwas abkühlen konnte. Daher erhält man das nämliche, wie an den nur schrittweise um wenig wärmer werdenden Volta-schen Platten, also nicht blos einmal, sondern mehrere Male hinter einander o − o +.

So z. B. zeigten sich am frühen Morgen eines Januartages beim Lichte einer kleinen Wachskerze neben mir auf dem Tische nur 11° Wärme, während draußen 4° Kälte herrschte und mich, weil aus dem kalten Schlafzimmer kommend und nüchtern, an die Hände fror. Von einer Gehilfin wurde die Lampe aus dem nur etwa 6° warmen Vorsale hereingebracht, auf den Tisch gestellt und hier erst angezündet. Die Proben, die sofort begannen und neben dem Glockenhalse in einer Entfernung von 5—15 cm mit möglichst kurzen, d. h. höchstens zwölf Sekunden dauernden Unterbrechungen ausgeführt wurden, ergaben binnen 7—8 Minuten die Reihe

0	0	2	0	0	$2\frac{1}{2}$	0	0	$\frac{1}{2}$	1	1	0	0	3	3	$1\frac{1}{2}$	1	0	0	1	‖
		−			+			−	−	−			+	+	+	+			−	

also wieder den Typus o − o + − − − − − −

*) Solche Blätter z. B. Ahorn, Pappelblätter und dergl. hatte ich nämlich immer in Menge zur Hand, weil mich u. a. auch die Wirkungen interessierten, welche die Blätter auf einander und auf ihre Umgebung ausüben und so läßt sich, beiläufig bemerkt, annehmen, daß im Schatten der Blätter die Art der durch die Bestrahlung sicherlich auch in ihnen entstehenden Elektrizität sich rasch ändert — ein Umstand, der pflanzenphysiologisch gewiß sehr wichtig ist. Denn bekanntlich werden die Chlorophyllkörner während der Belichtung, also auch unter dem Einflusse der strahlenden Wärme, an die Unterseite der oberen Epidermis gezogen, ja förmlich gepreßt, und die Kraft, welche dies bewirken kann, dürfte umso mehr Elektrizität sein, als das eigentliche Chlorophyll, das ja in einer ölartigen Masse gelöst ist, sich in Alkohol, Aether und Chloroform leicht auflöst, also zu denjenigen Körpern gehört, die, wie die Harze und ätherischen Oele, in der Sonne schnell elektrisch werden. Ja die Zersetzung der Kohlensäure macht es im Hinblicke auf die Elektrolyse und die Elektrizitätserregung im Wassertropfen (Kap. XXIX und XXX) sogar wahrscheinlich, daß die Pflanzenzelle selber ein galvanisches Element, bez. eine galvanische Batterie ist, deren Elemente die Chlorophyllkörner sind.

Um nun zu sehen, ob der Übergang aus der letzten Negativität in die weiter zu erwartende Positivität in so kurzer Zeit wesentlich durch die fortgesetzte Temperatursteigerung der Luft seitens der Lampe entstehe, wurde der Docht beim Zeichen || etwas niedriger geschraubt, und von nun an war es selber nach sechs nacheinander gemachten Proben nicht mehr möglich, die Negativität in Positivität überzuführen, sondern ich erhielt nur noch Negativität in abnehmender Stärke, nämlich || $\underset{-}{1}\ \underset{-}{1}\ \underset{-}{{}^1/_2}\ \underset{-}{{}^1/_2}\ \underset{-}{{}^1/_2}\ \underset{-}{{}^1/_2}$, und nachdem hierauf die Flamme noch kleiner gemacht worden war, sogar blos $\underset{-}{{}^1/_2}\ \underset{-}{{}^1/_4}\ \underset{-}{{}^1/_4}\ \underset{-}{{}^1/_4}$ |||; wird die Lampe jedoch, wenn der Pendelkondensator zuletzt Positivität anzeigte, niedergeschraubt, so geht auch diese, wie andere Versuche lehrten, nicht mehr in Negativität über. Dagegen bekam ich, als der Docht bei ||| wieder normal hochgeschraubt ward, sofort

$$\underset{-}{1\,{}^1/_2}\ \underset{-}{1}\ 0\ 0\ \underset{+}{{}^1/_2}\ \underset{+}{{}^3/_4}\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{1\,{}^1/_2}\ \underset{+}{{}^1/_2}\ 0\ 0;$$

indessen ergab die Fortsetzung bei acht weiteren Proben in derselben Region nur Positivität, und da mir inzwischen vollkommen warm geworden war, auch das Thermometer neben mir auf dem Tische nicht mehr stieg, so wußte ich, daß die Glasglocke, zumal inzwischen wieder mehrere Minuten vergangen waren, nicht mehr viel wärmer werden konnte, und daß hauptsächlich nur die interkurrenten Wärmesteigerungen des Pendelblättchens bei jeder Probe durch meine Hände, und die darauf folgenden Abkühlungen überhaupt noch Elektrizität hervorzubringen vermochten. Somit war ich auf dem Punkte angelangt, der als erster Fall (S. 44) beschrieben wurde, wo also oben in der Nähe der Glocke konstant Positivität, unmittelbar über ihrem unteren Rande und schief nach aufwärts und außen konstant Negativität, und zwischen beiden Neutralität anzutreffen ist.

Zum Ueberflusse ging ich hierauf ein paar Minuten hinaus vor die Hausthüre, so daß ich (bei — 4°) wieder anfing zu frieren; hereingekommen erniedrigte ich durch die mitgebrachte kalte Luft die Temperatur um mich und jener um die Lampe augenblicklich soweit, daß der Pendelkondensator oben neben dem Glockenhalse erst nach drei Proben wieder Elektrizität, aber nicht mehr, wie unmittelbar vor meinem Weggange Positivität, sondern dreimal Negativität, dann zweimal Null und hierauf endlich wieder konstante Positivität, im Ganzen also $0\ 0\ 0\ \underset{-}{2}\ \underset{-}{2}\ \underset{-}{1}\ 0\ 0\ \underset{+}{{}^1/_2}\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{2}\ \ldots$ lieferte.

Zwar kann man auch im Sommer an der soeben erst angebrannten Lampe, also trotz der übernormalen Zimmerwärme und starker Wärmestrahlung des eigenen Leibes, etwas von dem Umwandlungsgesetze sehen; aber meist nur 0 — 0 + + + + ... am Halse der Glocke, weil sie unter diesen Umständen schnell so warm wie möglich wird. Ungünstig ist die warme Jahreszeit für diese Untersuchungen jedoch auch darum, weil in den Sommermonaten die Feuchtigkeit der Zimmerluft ungleich größer ist als im Winter, ihre Erwärmung dort also schwerer von statten geht als hier, sodaß die Ausschläge noch kleiner werden. Außerdem ist die Winterszeit, wie wir später erst recht schätzen lernen werden, für so feine Untersuchungen darum

außerordentlich wertvoll, weil man sich in den trockenen Räumen ohne Schwierigkeit etwas verschaffen kann, das dazu unumgänglich notwendig ist, nämlich sehr verschiedene Temperaturen.

Das waren einige Versuche, wobei das Umwandlungsgesetz auch ohne Voltasche Platten, indessen doch unter Zuhilfenahme einer besonderen Wärmequelle sich zu zeigen begann. Allein wir haben, wie schon in Aussicht gestellt, auch diese nicht nötig, sondern können **das winzige Pendelblättchen** wie eine tausendmal größere Voltasche Platte durch unsere eigene, bei der Arbeit und vollends beim Umgange mit elektrischen Stäben rasch zunehmende Wärme elektrisch machen und zum Zeichenwechsel zwingen. Wie das Produkt jeder Arbeit Wärme ist, so ist das Produkt rasch zu- oder abnehmender Wärme Elektrizität. Die Ausschläge, die man bei der sogleich zu beschreibenden Erwärmung des Goldblättchens erhält, sind zwar klein, aber mit dem Pendel- oder Mikrokondensator mikroskopieren wir ja, und wer sie zum ersten Male hervorbringt, wird trotz ihrer Kleinheit staunen.

Es kam also auf eine lange Zeit fortschreitende, natürlich immer von Abkühlungen unterbrochene und sich zu einem möglichst hohen Grade steigernde Erwärmung des so überaus zarten Metallstückchens an. Zu diesem Zwecke machte ich mich nicht selber außergewöhnlich warm, sondern wählte umgekehrt eine besonders kühle Umgebung, weil man in einer solchen, ohne daß es beschwerlich würde, seine Wärmestrahlung und folglich auch die Wärme des Pendelblättchens leichter steigern kann.

Der Wert, den die folgenden Versuche haben, liegt nun weniger in dem abermaligen Nachweise des Umwandlungsgesetzes, als vielmehr darin, daß dabei die Elektrizitätserregung sich in noch feinerer Weise als bisher darthun läßt. Diese Verfeinerungen bestehen darin, daß die Erwärmung des Pendelblättchens auf ein Minimum zurückgeführt wird und sich dennoch als die Hauptursache der Elektrizität herausstellt. Auf ein Minimum läßt sich diese Erwärmung aber dadurch beschränken, daß man dem Pendel, dessen Blättchen elektrisch gemacht werden soll, nur diejenige Hand, welche den kondensierenden Leiter hält, nähert, es also ruhig auf dem Tische stehen läßt; und jener Nachweis wird eigentlich erst dadurch erbracht, daß der kondensierende, sich in der Hand erwärmende Leiter das eine Mal aus einem leicht, das andere Mal jedoch aus einem verhältnismäßig schwer erwärmbaren Metalle besteht.

Am 3. Januar 1895 vormittags 8′ 35 zeigte das Thermometer im ungeheizten Zimmer auf dem Tische bei 30 % relat. Feuchtigkeit nur 12° Wärme, während draußen 3° Kälte und 67 % r. F. waren, doch ist mir völlig warm, da ich vor einigen Minuten Kaffee getrunken habe.

Ein empfindliches Goldschaumpendel steht 27—28 cm von meiner Brust entfernt auf dem Tische, und zwei ganz gleiche, je 1 mm dicke und 10 cm lange Drähte a b und a b (Fig. 18), der eine von Zink, der andere von Kupfer, werden aus einer Pappkapsel, worin sie sich bisher befanden, $^3/_4$ m von mir entfernt auf den Nebentisch ausgeschüttet, damit ihre Erwärmung durch Bestrahlung von meiner Seite möglichst unterbleibe: denn

mit ihnen soll bewiesen werden, daß sie die auf dem Pendelblättchen durch meine Wärmestrahlen entstehende Elektrizität dadurch verstärken, daß sie, weil außer durch Strahlung noch durch Leitung erwärmt, das Goldblättchen, dem ihr Ende sich aufs äußerste nähert, vor und bei der Berührung auch ihrerseits erwärmen.

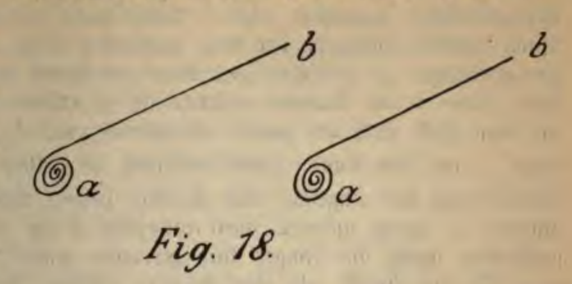


Fig. 18.

Nachdem der Kupferdraht mit einem langen Lineale möglichst weit fortgeschoben ist, erfasse ich den Zinkdraht mit zwei Fingern bei a und berühre eine der freien Ecken des Pendelblättchens B einen Augenblick mit dem Drahtende b (Fig. 19); es zeigt sich, mit dem geriebenen Glas- und Harzstabe geprüft, unelektrisch. Hierauf berühre ich dieselbe Ecke von B nochmals mit dem Zinkdrahtende b; aber jetzt bleibt sie auffallender Weise an b hängen, und zwar so fest, daß man verhältnismäßig stark ziehen muß, um den Draht wieder frei zu bekommen, ja es schien sogar, als ob sie sich ihm vor der Berührung eine Spur näherte, also angezogen würde. Dies war auch kaum eine Täuschung; denn das vom Drahte befreite Pendel geht vor dem Glasstabe an 4 mm fort, zeigt damit also an, daß die den abgeleiteten Draht influenzierende Elektrizität des Goldblättchens negativ war.

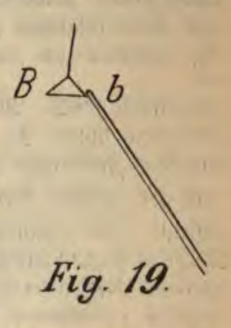


Fig. 19.

Alsbald verfahre ich, natürlich nachdem das Blättchen sorgfältig abgeleitet worden war und sich als unelektrisch erwiesen hatte, mit dem Kupferdrahte ganz ebenso wie mit dem Zinkdrahte: Es liefert zuerst gleichfalls Null und bleibt bei der zweiten Berührung ebenfalls kleben; allein viel weniger fest als vorher am Zinkdrahte und ergiebt mit dem Glasstabe einen Ausschlag von nur 2 mm.

Das Goldschaumblättchen wurde also durch Erwärmung, richtiger durch E A W, in beiden Fällen negativ elektrisch, aber noch einmal so stark, wenn ich ihm statt des Kupferdrahtes den Zinkdraht genähert hatte. Da wir nun wissen, daß sich das Zink viel leichter erwärmt als das Kupfer, so ist auch unser Zinkdraht in der Hand und von meinen Wärmestrahlen wesentlich wärmer geworden als der Kupferdraht; folglich strahlte das Zinkdrahtende b gegen das so sehr genäherte B ungleich mehr Wärme aus als das Kupferdrahtende. Mithin kann der große Unterschied in der Elektrizitätsintensität des Pendels, je nachdem es von diesem oder jenem berührt wurde, nur auf seine stärkere oder schwächere Erwärmung durch den genäherten Draht bezogen werden, weil es für uns feststeht, daß jene Intensität mit der Erwärmung, wodurch diese erregt wird,

innerhalb so enger Grenzen gleichen Schritt hält (Vergl. Kap. IV). Und dies läßt sich, wie an den Voltaschen Platten, auch dem winzigen Goldschaumblättchen gegenüber zeigen. Denn wenn ich mit meinem Stuhle vom Tische abrücke, sodaß ich den Arm ausstrecken muß, um mit dem Drahte das Pendelblättchen zu erreichen, und Kopf und Brust dabei ca. 70 cm von dem freien Ende b des Drahtes entfernt ist, so erhalte ich trotz warmer Hände mit dem Zink nach der zweiten Berührung nur $\underline{{}^1/_4}$, und nach der dritten kaum $\underline{1}$, mit dem Kupfer jedoch erst nach der dritten Elektrizität, nämlich $\underline{{}^1/_2}$. Ferner: Als mir ungefähr eine Stunde später, nachdem ich in dem kalten Zimmer an einem anderen, weit entfernten Tische verschiedenes gelesen und geschrieben hatte, die Finger kalt geworden waren (das Thermometer stieg, wenn ich sein Gefäß mit zwei Fingern anfaßte, binnen 10 Sekunden von 12 ° nur bis auf 13°_{2}, während es zu Anfange der Sitzung (8′, 35), als mir noch ganz warm war, ebenso behandelt in derselben Zeit von 12 ° bis auf 19 ° stieg), so ergaben die gleichen, aber mit angezogenem Arme ausgeführten Proben mit dem Zink erst nach der zweiten Berührung, wobei das Pendelblättchen auch durchaus nicht hängen blieb, eine Spur, d. h. etwa $\underset{+}{{}^1/_4}$, während es nach der zweiten Berührung mit dem Kupferdrahte ganz unelektrisch blieb. Machte ich aber meine Finger warm, indem ich sie einige Sekunden hinter die Halsbinde schob, so ergab zwar die erste Berührung mit dem Zinkdrahte auch nichts, die zweite jedoch schon reichlich $\underline{1}$, wogegen nach der zweiten Berührung mit dem Kupferdrahte kaum $\underline{{}^1/_4}$ mm Negativität auftrat. Die eigentümliche Erscheinung jedoch, daß das schwach elektrisch gewordene Pendelblättchen an dem kondensierenden Drahte und zwar bei etwas stärkerer Elektrisierung so fest hängen bleibt, daß man Draht und Pendel förmlich auseinander reißen muß — diese bleibende Anziehung, die in der Mikroelektrik wahrscheinlich eine höchst wichtige Rolle spielt und uns schon früher (S. 16) begegnete, wird Kap. 17 so genau wie möglich untersucht werden.

Es gelang also auch aus der verschiedenen Erwärmbarkeit des Zinks und Kupfers zu beweisen, daß ein schwach elektrischer Gegenstand durch einen ihm mit der bloßen Hand genäherten Leiter stärker erwärmt und eben dadurch stärker elektrisch wird. Diesen Satz mit Hilfe der Wellentheorie zu erklären, versuchten wir, wie man sich erinnern wird, bereits S. 15.

$1\,{}^1/_2$ Stunden später war die Temperatur des Zimmers bis auf 11 ° gesunken, und nun ging ich, die Kälte nicht mehr aushaltend, in ein wohlgeheiztes Zimmer, trank reichlich Thee, kehrte aber 10′ 30, nachdem ich mich gut ausgewärmt hatte, in das Untersuchungszimmer — auf dem Arbeitstische war nur noch 10°_{2} — wieder zurück, um die Versuche mit den beiden Drähten und demselben Pendel, das, wie 8′ 35, gegen 30 cm von mir entfernt auf dem Tische stand, wieder aufzunehmen. Sie sind es nun, welche die ersten Anfänge des Umwandlungsgesetzes nach oben, ganz ähnlich wie jene an den Voltaschen Platten, zu Tage fördern. Denn das Zink ergab binnen 4 Minuten

$\underline{1/4}\ \underline{2}\ \underline{1/2}\ 0\ 0\ 0\ \underset{+}{1/4}\ \underset{+}{1/2}\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{1/2}$, das Kupfer jedoch nur

$0\ \underline{1/4}\ \underline{1}\ \underline{1/2}\ \underline{1/4}\ 0\ 0\ 0\ 0\ \underset{+}{1/4}\ \underset{+}{1/4}\ \underset{+}{1/2}$.

Die Ausschläge werden aber viel größer, wenn der Draht nicht blos eine Ecke des Pendelblättchens, sondern eine seiner Kanten, etwa die untere, so berührt, daß es sich mehr oder weniger umbiegt und auf den ersteren zu liegen kommt (Fig. 20); denn dabei ist die Erwärmung des Goldblättchens durch den Draht natürlich größer und die Uebertragung der Elektrizität des letzteren auf das erstere vollkommener.



Fig. 20.

10′ 55 begebe ich mich wieder, nämlich eine Viertelstunde lang, in den gut geheizten Raum, und hierauf erhalte ich im kalten Arbeitszimmer binnen 7 Minuten mit dem Zink

$0\ \underline{1/2}\ \underline{1\,1/4}\ \underline{1}\ \underline{3/4}\ 0\ 0\ 0\ \underset{+}{1/4}\ \underset{+}{1/2}\ \underset{+}{1}\ \underset{+}{1\,1/2}\ \underset{+}{2}\ \underset{+}{3/4}\ 0\ 0\ 0\ \underline{1/4}\ \underline{1/2}\ \underline{1/2}$,

also sogar den zweiten Wechsel.

Endlich muß noch ein höchst einfaches, in einem kühlen Raume jeden Augenblick ausführbares, einigermaßen schon seit A. v. **Humboldt** bekanntes Verfahren erwähnt werden, wodurch man isolierte Leiter ohne Reibung und ohne allen Apparat, d. h. immer wieder nur durch Erwärmung, Abkühlung, Wiedererwärmung u. s. w. elektrisch, hierauf entgegengesetzt, dann gleichnamig, hierauf wieder ungleichnamig elektrisch machen kann u. s. f., nämlich **die Behauchung**.

Zu diesem Zwecke erweisen sich wieder die auf bequemen Füßen stehenden oxydierten Voltaschen Platten, wovon man behufs Erforschung des Ursprunges der Elektrizität immer mehrere Paare zur Hand haben muß, als ganz vorzüglich brauchbar. Unbedingt erforderlich ist nur ein möglichst kühles Zimmer, weil sonst die durch den Hauch hervorgebrachte Erwärmung zu gering, namentlich aber die sofort darauffolgende Abkühlung zu schwach ausfällt. Denn die letztere wird durch die Verdunstung des den Hauch begleitenden Niederschlages ungewöhnlich groß; ist das Metall aber von Hause aus so warm, daß es nicht oder nur sehr wenig beschlägt, so kann natürlich auch nicht viel Verdampfungskälte nachkommen.

Steht z. B. im nur 12—13° warmen Zimmer die unelektrische Zinkplatte auf dem Tische, so ist sie, ein oder ein paar Male kurz behaucht, spätestens nach der zweiten oder dritten, mit kalten Händen angestellten IIa Probe positiv, und zwar oft an $\underset{+}{10}$. Dies ist bei so niederen Temperaturen offenbar eine der unteren, der subnormalen Positivitäten, wovon wir die erste schon früher (S. 34) kennen lernten, und die uns samt den subnormalen Negativitäten alsbald sehr viel beschäftigen werden. Behaucht man hierauf

die Platte etwas mehr, so ist sie, wenn der Hauch stark genug war, schon bei der ersten Probe negativ; erscheint die Negativität erst später, so war er beinahe zu schwach, weil E A W noch mehrmals angewandt werden mußten. Wieder stärker als die zweite muß hierauf die dritte Behauchung sein, um die Negativität in Positivität umzuwandeln, und so gelingt es beim Zink häufig den Zeichenwechsel noch mehrere Male hervorzurufen, während das relativ schwer erwärmbare Kupfer im Rückstande bleibt, also weniger oft und erst nach zahlreicheren bez. stärkeren Behauchungen wechselt. Ist man aber sehr warm, so ergiebt die fortgesetzte Behauchung kaum mehr als einen Wechsel, weil die Platte unter diesen Umständen durch Annäherung des heißen Gesichtes schon beim ersten Hauche so stark erwärmt ward, daß eine hinreichende Steigerung von seiten des menschlichen Körpers nicht mehr geschehen kann.

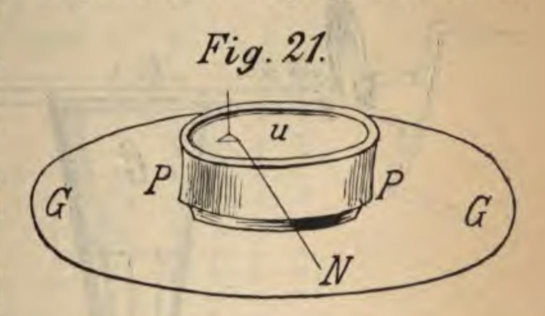
Bei der Erregung von Elektrizität durch Behauchung kommt man aber von selber auf die Frage, ob damit nicht auch die Entstehung der Hauchbilder zusammenhänge. Den vorhergehenden Untersuchungen zufolge wird der gravierte Metallstempel, den man behaucht, elektrisch; zugleich mit der Elektrizität entsteht aber, wovon später (Kap. 29) viel die Rede sein wird, Ozon, und wenn dies vorläufig vielleicht noch zweifelhaft erscheint, so findet Ozonentwicklung bekanntlich doch, wo Wasser so lebhaft wie hier verdunstet, überall statt. Das Ozon greift aber die polierte Platte, worauf der gravierte Stempel nach seiner Behauchung gesetzt wurde, augenblicklich, und viel mehr natürlich im Laufe einiger Sekunden an den Stellen an, welche von der naßgewordenen, also mit Ozonwasser benetzten Metalloberfläche innig berührt werden. Die Wirkung dieser Oxydation, die minimale Rostauflagerung, wenn die polierte Platte von Stahl ist, tritt aber nach Entfernung des Stempels bei Behauchung der letzteren darum so deutlich hervor, weil die Oxydschicht eine rauhe Fläche bildet und gerade deshalb durch das noch unzerstörte, also weiter arbeitende Ozon immer mehr vertieft wird. Außerdem aber geschieht Folgendes: Stellt man den Stempel auf die Metallplatte, oder hält ihn nur möglichst nahe über dieselbe und entfernt ihn wieder, so macht man den Voltaschen Grundversuch, dessen Effekt, gleich dem Hauchbilde, ja auch erscheint, wenn die eine Platte über die andere nur ganz nahe gehalten und dann parallel zur anderen geschwind entfernt wird; denn bei der Annäherung erwärmte man, kühlt aber bei der Entfernung plötzlich ab, und durch Elektrizität, die so stark wie beim Fundamentalversuche ist, entsteht zweifellos auch Ozon, da es schon bei viel schwächeren Elektrizitätserregungen nachweisbar ist. Nimmt man endlich statt des Stempels einen Griffel und schreibt auf eine Glastafel, die nachher behaucht wird, so erregt man relativ sehr starke Reibungselektrizität, die bei Gegenwart von Wasser Ozon, das oxydierend wirkt, erzeugt, weil dieses sich ja in jenem auflöst (Kap. 30).

Kapitel VIII.

Schlechte Leiter werden nach Behauchung positiv, wechseln aber ihr Zeichen mehrmals nach wiederholter Erwärmung durch die Flamme.

Auch an den schlechten Leitern läßt sich sowohl die Erregung der Elektrizität durch Erwärmung bez. Erwärmung, Abkühlung, Wiedererwärmung u. s. w., als auch der gesetzmäßig erfolgende Zeichenwechsel beobachten, wenn die Erwärmung fortgesetzt zunimmt. Indessen gelingen die betreffenden Versuche weitaus nicht so leicht und vollkommen als an den guten Leitern, weil die Nichtleiter sich viel langsamer erwärmen und abkühlen als die Leiter. Dies ist auch der Grund, warum das an der Flamme bis zur Erweichung erhitzte Ende einer Siegellackstange keine Elektrizität giebt und irrthümlicherweise angenommen worden ist, daß die Elektrizitätserregung des geriebenen Harz- oder Glasstabes nicht von der dabei entstehenden Wärme herrühren könne (Kap. 8).

Wir nehmen sogleich das zuletzt besprochene Verfahren, die Behauchung, wieder auf und richten sie gegen eine auf einer gut isolierten Glimmerscheibe GG umgekehrt stehende Porzellanbüchse PP (Fig. 21); beide, GG und PP sind, einmal mit IIa geprüft, unelektrisch.



Wird nun der Boden u von PP im $15^1/_2$ ° warmen Zimmer, ohne das Porzellan zu berühren ein einziges Mal und zwar nur ganz kurz, nämlich $^2/_5$ Sekunde lang aus möglichster Nähe behaucht, so ist u, nachdem der Thau (spätestens binnen 2 Sekunden) verschwunden ist, mit IIa sofort $\overset{+}{1}\ \overset{+}{3}\ \overset{+}{3}$, und bleibt es, wenn auch mit abnehmender Stärke, länger als eine halbe Stunde. Da das Pendelblättchen nicht am Rande, sondern auf der Fläche glatt aufgelegt ward, so hatte ich die mit der Nadel N zu berührende Ecke ein wenig aufgebogen; denn hätte ich dies nicht gethan und das Dreieck, während es allenthalben flach auflag, an irgend einem Punkte mit der Nadel von oben her berührt, so wäre dabei ein leichter Druck, also eine kleine Reibung, mit der wir hier durchaus nichts zu schaffen haben wollen, nicht ganz zu vermeiden gewesen.

Der ganze Elektrizität erregende Vorgang ist aber zweifellos wieder der Temperaturwechsel E A bez. E A W A W . . ., und wie wesentlich die Abkühlung bez. die Abkühlungen sind, erkennt man deutlich daraus, daß die Elektrizität viel schwächer ausfällt, wenn man stark und länger als $^1/_2$ Se-

kunde behauchte, der Büchse also die Möglichkeit benommen hat, bei der Wasserverdunstung rasch wieder kalt zu werden.

Behandelt man dagegen die zum Fundamentalversuche dienende Zinkplatte ebenso wie die Porzellanbüchse so erhält man zunächst nichts: Sie und noch mehr die Kupferplatte, muß, um dasselbe Resultat zu geben, stärker als der schlechte Leiter behaucht werden — offenbar weil die dem Metalle zugeführte Wärme sich rasch auf das Ganze verteilt, sodaß es dabei zu einer ungleich geringeren Temperatursteigerung kommt. Und das ist zugleich einer der Gründe, warum eine lackierte Volta-Platte durch strahlende Wärme wesentlich stärker elektrisch wird als eine nackte.

Zum Zeichenwechsel habe ich aber das Porzellan und andere schlechte Leiter durch Behauchung nicht bringen können; jedenfalls werden sie durch das fortgesetzte, starke Hauchen allenthalben zu warm, als daß sie hierauf sich schnell wieder abkühlen könnten.

Indessen erhielt ich eine nicht zu verachtende Wechselfolge, nämlich

$$0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0$$

mit kalten Händen im ungeheizten, nur 14° warmen Zimmer vom Siegellack, der an der Flamme periodisch erwärmt ward.

Auf einem hohen Bierglase G (Fig. 22) liegt seit ein paar Tagen unangerührt eine viereckige Stange feinen Siegellacks x y, und indem ich das Glas ganz unten anfasse stelle ich den Lack vor mich auf den Tisch, überzeuge mich mittelst II a, daß er unelektrisch ist und halte nun die nur mäßig große Spiritusflamme in der abgebildeten Weise an die obere Kante a des Siegellackendes x, setze sie also nur dem am wenigsten heißen Teile der Flamme aus. Diese Vorsicht ist

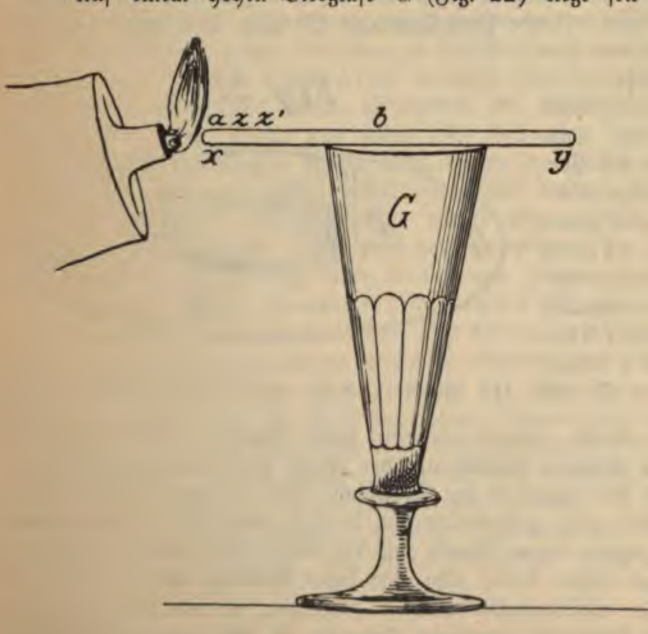


Fig. 22.

sehr geboten: denn erhitzt man das ganze Lackende, etwa so, wie wenn es eine andere Form bekommen soll, so würde es, weil auch im Innern heiß geworden, nur sehr langsam kalt werden können und die Siegellackstange nur dort Elektrizität zeigen, wo die Abkühlung schnell vonstatten gehen kann, nämlich etwa von z′ bis über die Mitte b hinaus. Ja sogar, wenn man ein paar Sekunden lang nur so schwach, wie Figur 22 zeigt, erwärmt, ist a zunächst unelektrisch und läßt erst, nachdem Minuten vergangen sind, etwa 1 mm Elektrizität wahrnehmen, während die verhältnismäßig weit, nämlich 14—24 mm von a entfernte Strecke z . . . z′, die sich viel weniger als a erwärmte, aber auch viel leichter wieder erkaltete, nach Fortnahme der Flamme sofort elektrisch ist und eine bis mehrere Minuten lang immer stärker elektrisch wird.

Es ist also zunächst der Fall vorzuführen, wo der Lack mit der Flamme erst ein klein wenig, dann mehr und mehr, niemals jedoch so stark erwärmt wird, daß er zu fließen anfängt, sondern bei a höchstens oberflächlich weich wird! Und namentlich, damit die Abkühlung möglichst rasch geschehen könne, stellte ich diese Versuche im nur 14° warmen Zimmer, worin ich anfangs fror, an. Probe IIa ergab nun, wenn a nur je ein paar Sekunden lang in der auf Figur 22 abgebildeten Weise erwärmt und die Flamme hierauf sogleich fortgenommen worden war, folgendes:

	Erwärmung a . . . z′							
11′ 20	2 Sek. lang ergiebt	0	0					
„ 25	„ „ „ „	1	1½	2	3	3		
		+	+	+	+	+		
„ 30	„ „ „ „	1	1½	2	3	4		
		−	−	−	−	−		
„ 35	„ „ „ „	1	2	3½	5	6		
		+	+	+	+	+		
„ 40	„ „ „ „	½	1	1½	2	3		
		−	−	−	−	−		
„ 45	„ „ „ „	½	1	1	2	2		
		+	+	+	+	+		
„ 50	3 „ „ „	3	4	5	6	6		
		+	+	+	+	+		
„ 55	1 „ „ „	0	0	0				
12′ 0	3 „ „ „	5	10	12	12 . . .	10 . . .	8 . . .	5
		+	+	+	+	+	+	+
„ 12	2 „ „ „	½	1	1½	2	2		
		+	+	+	+	+		
„ 18	2 „ „ „	0	0	0	0			
„ 25	2 „ „ „	0	0	0	0			

Die erste Positivität, die erste Negativität und die zweite Positivität sind jedenfalls subnormale, wogegen erst die nach der fünften Erwärmung auftretende Negativität die normale ist, da die darauf folgende Positivität jener Positivität zu entsprechen scheint, welche der Harzstab, wenn er mit etwas schnell warm werdendem, nämlich mit Amalgam (Quecksilber erwärmt sich ja ganz ungemein leicht) gerieben wird, annimmt und trotz heftigster

Reibung in ähnlicher Weise beibehält, wie der von 11′ 45″ bis 12′ 12″ mehrmals mit der Flamme erwärmte Lack. 11′ 55″ ward die letztere nur eine Sekunde lang genähert, um zu zeigen, daß eine wesentlich schwächere Erwärmung wie vorher keine Elektrizität, sondern nur den unelektrischen Zustand hervorzubringen vermag; wie kräftig hingegen der schon ansehnlich warm gewordene Lack auf eine erheblich stärkere Wärmezufuhr antwortet, lehrt die 12′ 0″ erscheinende Reihe. Von 12′ 18″ an ist er aber so warm geworden, daß seine Abkühlung zu langsam vor sich geht, denn bei längerem Erwärmen fängt er nunmehr an zu schmelzen. Somit sind wir bei dem anderen Falle angelangt, wo das Siegellackende x von vorn herein, und zwar durch Einwirkung der heißen Flammenspitze so lange erwärmt wird, bis es zu brennen und zu tropfen beginnt.

Wieder wird mit kalten Händen in einem „kalten", d. h. nur etwas über 14° warmen Zimmer gearbeitet, diesmal aber die Spitze der Weingeistflamme an das unelektrische x (Fig. 22) gehalten, damit es rasch so heiß werde bis es brennt. Gleich nachdem es dies nicht mehr thut, giebt die Fernprobe, die Probe IIb, über dem noch heißen Lacke und IIa auf z . . . z′ 0 0. Allein nach einer Minute wird die ganze Stange von z′ bis y, und wiederum eine Minute später auch x mit Probe IIa negativ. Diese Negativität nimmt im Laufe der nächsten 2—3 Minuten allenthalben bis auf ca. 5 mm zu, dann aber wieder ab, ist nach 7—8 Minuten gänzlich geschwunden und kehrt auch nach mehrmaliger Wiederholung der Probe IIa nirgends wieder. Daraus geht hervor, daß diese Elektrizität nicht das Produkt der Untersuchungswärme, d. h. nicht der durch die wiederholten IIa Proben entstehenden Erwärmung, sondern jenes der bis zu einem gewissen Punkte gediehenen Abkühlung ist. Nachdem x unelektrisch geworden, wird es mit der Flamme von neuem mindestens ebenso lange, da es aber noch nicht wieder völlig kalt geworden sein konnte, jetzt stärker als vorher erhitzt; wieder zeigt sich z′ y eine Minute und x zwei Minuten später 1—2 mm elektrisch: Diesmal aber nicht negativ, sondern positiv! Diese Positivität wächst in den nächsten 2—3 Minuten gleichfalls allenthalben bis zu 5 mm, nimmt alsbald wieder ab und ist nach 10 Minuten nicht mehr nachweisbar. Erhitzt man x jedoch $\frac{1}{2}$ Stunde später abermals so stark, wie vorher, so erscheint wieder Positivität, aber ungleich schwächere, nämlich von z . . . z′ nur $\underset{+}{\frac{1}{2}}$ und von x nur $\underset{+}{1}$, natürlich nur für ein paar Minuten.

In dem Maße also, wie sich die Siegellackstange nach Ort und Zeit verhältnismäßig rasch abkühlen konnte, wurde sie mehr und mehr elektrisch. Während aber die Elektrizität nach der ersten Erhitzung Negativität war, trat nach der zweiten Positivität und zwar offenbar darum auf, weil der Lack vor der zweiten Erhitzung noch immer wärmer war als vor der ersten — eine Siegellackstange braucht beim zweiten Male Siegeln weniger lange über die Lampe gehalten zu werden als beim ersten Male. Die Temperatur der ganzen Stange war also nach der zweiten Erhitzung nicht so weit herunter gegangen als nach der ersten, und die mit der Probe IIa gesetzte Wiedererwärmung des Lacks, welche die Elektrizität bis zur Sichtbarmachung ver-

stärkte, geschah auf einer höheren Temperaturstufe als nach der ersten.

Dieser kleine Doppelversuch ist aber auch betreffs Elektrisierung der Siegellackstange durch Reibung von großem Interesse. Dann ebenso, wie die mit Wolle geriebene Harzstange sogleich und endgiltig negativ ist, zeigte sie nach der ersten starken Erhitzung durch die Flamme auch nichts weiter wie Negativität; und während die durch die Reibung mit Amalgam stärker erwärmte Lackstange sogleich positiv und nur positiv wird, zeigte sie nach der zweiten, nämlich stärkeren Erhitzung durch die Flamme gleichfalls sofort und unabänderlich Positivität. Daher entsteht im Hinblick auf den zuerst beschriebenen Fall, jenen mit nur schwacher Erwärmung durch die Flamme, eine Vermutung, die später (Kapitel XI) zur Gewißheit werden wird, nämlich: Bei der gewöhnlichen Reibung des Harzstabes mit Wolle werden eine Anzahl elektrischer Vorstufen übersprungen; und wenn man ihn sogleich mit Amalgam reibt, so wird auch die Negativität, die er zuvor durch Reibung mit Wolle erhalten haben würde, infolge der Rapidität seiner Temperatursteigerung übergangen.

Daß aber die Elektrizität der Siegellackstange nach Anwendung der Flamme so schwach ausfällt, ist wiederum einzig und allein die Folge von ihrer nach dieser Behandlung immerhin nur geringen Abkühlung; denn nach Reibung, die aber schon sehr starke Elektrizität erzeugt, ist die Abkühlung eine sehr vollkommene, weil die durch jene gesetzte Erwärmung eine nur gan oberflächliche war.

Kapitel XI.

Wichtigkeit der Abkühlung im Besonderen. Schwefel- und Siegellacktropfen. Der geriebene Glas- und Harzstab.

1. Wenn man das äußerste Ende a á (Fig. 23 I) einer Siegellackstange a c, das, nachdem es ein einziges Mal kurz über den Rockärmel gestrichen worden ist, das Pendel stark anzog, samt den folgenden 25—30 mm, d. h. etwa bis b über der Spiritusflamme ringsum so stark erwärmt, daß die Masse von selber sich zu biegen anfängt (Fig. 23 II), an dem Reibzeuge aber *nicht* hängen bleibt, und nun das erhitzte a a wie vorher das kalte reibt, so rührt sich das Pendel nur ganz wenig oder gar nicht.

2. Erhitzt man von a c nicht ein so langes Stück, sondern möglichst

nur a a', indessen so stark, daß es ebenso heiß ist, als im vorigen Falle, und reibt es sogleich in derselben Weise wie dort, so erhält man wieder die schönste Anziehung des Pendels.

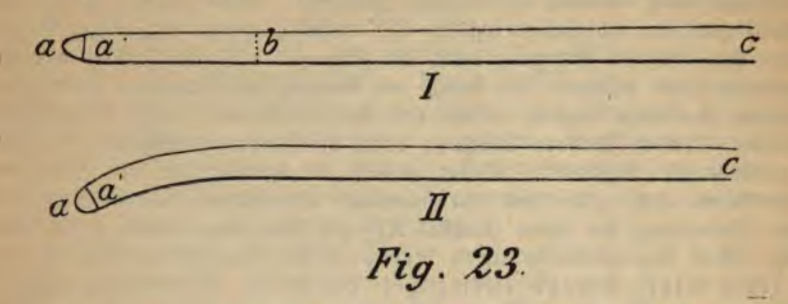


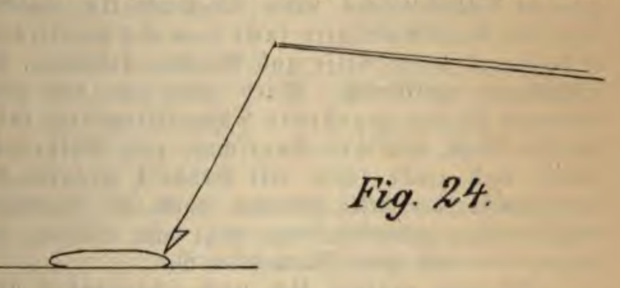
Fig. 23.

Erklärung. Im Falle 1 kann das geriebene a a' sich nur sehr langsam abkühlen, weil seine nächste Nachbarschaft, das ganze Stück a' b, durch und durch erhitzt war, und noch ist; im Falle 2 aber bleibt diese Nachbarschaft kalt und spielt, weil mit der erhitzten Spitze aufs innigste zusammenhängend, für den durch die Reibung neuerdings erwärmten Teil die Rolle eines Kühlers. Das ist der einzige physikalische Unterschied zwischen beiden Fällen, und von diesem muß der so sehr große in der Wirkung der Reibung abhängen.

Allein bei Fall 1 ist, wenn man näher zusieht, dennoch Elektrizität vorhanden, und zwar verhältnismäßig starke, nämlich bei Anwendung des Mikrokondensators, also von Probe IIb oder IIa. Der Unterschied zwischen 1. und 2. stellt sich also nur als ein gradweiser heraus. Aber auch das ist sehr wichtig, weil es uns sagt: Zur Erzeugung hochgespannter Elektrizität muß auf eine starke Erwärmung auch eine starke Abkühlung folgen. Dies ist der Fall bei der Reibung, weil hier die plötzliche Erwärmung, wie gesagt, eine oberflächliche bleibt; dann aber auch beim Volta-Effekte, weil dabei die durch die Trennung der Platten entstehende Kälte einen fühlbar hohen Grad erreicht. Dies ist also ein Prinzip von hoher praktischer Bedeutung; und prüfen wir darauf die aus mehreren Voltaschen Platten zusammengesetzten Vorrichtungen, die weit stärkere Elektrizität als jene allein liefern, so stellt sich wie schon Seite 39 bemerkt wurde, heraus, daß die eingeschalteten Leiter zweiter Klasse es sind, von welchen, weil sie in viel höherem Grade als die Luft abkühlend wirken, der bedeutende Effekt ebenso sehr abhängt wie von den übrigen Teilen, die nach jeder Abkühlung sich bis zu einem gewissen Punkte immer wieder von neuem erwärmen. Und wahrscheinlich beruht auch auf der nach plötzlicher Erwärmung zwischen den Polen des Magneten sofort erfolgenden Abkühlung des Gramme'schen Ringes bez. seiner Umwicklung die Erregung von Induktionsströmen in der letzteren, da Gore (1868) bewiesen hat, daß durch Erwärmung und Wiederabkühlung von Magneten elektrische Ströme erzeugt werden.

Die hochgradigste Elektrizität nach rascher Abkühlung eines erhitzten

Körpers zeigen aber die erstarrenden Schwefeltropfen, und zwar offenbar darum, weil der flüssige Schwefel so unglaublich schnell kalt wird, daß man, was von ihm an einem eingetauchten Stücke Holz und dergl. hängen bleibt, sofort anfassen kann, ohne sich zu verbrennen, er also in der ersten Sekunde einen Temperatursturz von mindestens 50° durchmacht. Leider gehört der Schwefel ja zu den Stoffen, die beim Erkalten unter Umständen Risse bekommen und auch infolge dieser Verschiebung ihrer kleinsten Teilchen elektrisch werden; wenn man ihn aber schon im Schmelzgefäße sich etwas abkühlen läßt, so sind die ausgegossenen Kuchen oder Tropfen so dick, daß sie niemals reißen und niemals knistern. Ist nun die Unterlage ein guter Wärmeleiter, z. B. ein nur 0,3—0,6 mm dickes Kupferblech, das, weil es dünn ist, sehr schnell wieder erkaltet, so kann man, wenn einer gießt bez. soeben mit Gießen fertig ist, und ein anderer das Pendel nähert, sehen (Fig. 24), daß dasselbe von dem Rande des Tropfens, schon ehe seine Mitte fest geworden ist, angezogen, ja sogar gleich darauf abgestoßen wird, daß also bereits zu einer Zeit ungeheuer starke Elektrizität, und zwar immer Negativität, vorhanden ist, wo nur sehr wenige und erst mikroskopisch kleine Rißchen entstanden sein können.


Fig. 24.

Indessen ist dabei doch nicht ausgeschlossen, daß die innere Reibung groß genug gewesen sei, um so viel Elektrizität zu erzeugen. Andererseits könnte man auch sagen, der Tropfen habe bei seiner Erkaltung sich von seiner metallenen Unterlage ja mehr oder weniger zurückgezogen, also auch dabei gerieben; träfe dies zu, so könnte er jedoch nur an seiner Unterfläche, und daselbst auch lange nicht so stark elektrisch sein; denn wird ein unelektrischer Schwefelkuchen, der z. B. auf Weiß- oder Kupferblech liegt, durch Hin- und Herschieben absichtlich gerieben, so ist seine geriebene Unterfläche, auch wenn er vorher etwas erwärmt ward, nur so schwach negativ, daß dazu die Probe IIa nötig ist und diese nur ein paar Millimeter ergiebt. Entscheidend ist aber Folgendes: Benimmt man dem flüssigen Schwefel die Möglichkeit rasch zu erkalten dadurch, daß er auf einen schlechten Wärmeleiter z. B. auf ausgetrocknetes starkes Zeichenpapier gegossen wird, so ist er selber für IIa ganz unelektrisch; denn jetzt hat sich dasselbe so sehr erwärmt, daß es sich zu dem darauf liegenden Tropfen wie a′ b zu a a′ in Figur 23 verhält, wenn a b stark erhitzt ward und das geriebene a a′ nach der Reibung sich nur sehr langsam abkühlen konnte, also für Probe I ganz oder fast ganz unelektrisch war. Weiter: Läßt man den flüssigen Schwefel auf eine kaum 10° warme Metallplatte fallen, so zieht der Tropfen das Pendel so heftig an und stößt es augenblicklich so weit fort,

daß man denkt, es müsse abreißen; denn auf so ungewöhnlich kühler Unterlage ist eben der Temperatursturz des gewiß noch an 100° heißen Schwefels sehr viel größer. Wird dagegen Schwefel auf erwärmtes Porzellan, das ja lange warm bleibt, gegossen, so kann er, bei einem verhältnismäßig noch hoch gelegenen Punkte seines Temperaturabfalles angelangt, sich bloß sehr langsam abkühlen und ist sogar mit IIa unelektrisch, während er das Pendel sogleich anzieht und abstößt, wenn das Porzellan nicht erwärmt war, sondern nur Zimmertemperatur hatte. Endlich: Tropft man Schwefel auf eine dünne (0,2 mm dicke) Scheibe von Glas- oder Glimmer, oder auf eine 4—5 mm dicke Platte von weichem vulkanisierten Kautschuck, so wird der Tropfen auf der Unterlage, weil diese sich ja auffallend langsam, d. h. viel weniger schnell als Metall abkühlt, auch selber nur sehr langsam kalt; infolgedessen erhitzt er jene mehr wie dieses, bleibt darauf kleben, kann sich nicht zusammenziehen, und wieder ist der auf einen so schlechten Wärmeleiter gegossene Schwefeltropfen selber für Probe IIa unelektrisch. Biegt man nun die Kautschukplatte samt dem Schwefeltropfen so stark, daß er knisternd viele Risse und Rißchen bekommt, **so ist und bleibt er trotzalledem unelektrisch.** Wird aber ein auf nicht besonders getrocknete Pappe gegossener Schwefeltropfen, indem man dieselbe ebenso biegt, wie den Kautschuk, zum Reißen gebracht, so ist er sofort und zwar schon mit Probe I negativ; denn jetzt konnte sich der Schwefel, der beim Zerreißen durch die ebendadurch gesetzte Reibung plötzlich warm geworden war, auch rasch abkühlen, weil die gewöhnliche Pappe ein relativ guter Wärmeleiter ist.

Hieraus ergiebt sich noch schlagender als oben (S. 55): **Wenn nach Reibung keine schnelle Abkühlung möglich ist, so entsteht auch keine Elektrizität.**

Aepinus' und Wilke's Meinung, daß die beim Erstarren geschmolzenen Schwefels auftretende Elektrizität im Einklange mit den damals noch neuen von Canton so richtig erklärten Elektrizitätserscheinungen am Turmalin eine Wärmewirkung sei, wäre, wenn man die Versuche dieser geistvollen Physiker, statt sich die Ansicht des Pater Beccaria anzueignen, genauer verfolgt hätte, sicher imstande gewesen, die Frage über die Entstehung der Elektrik alsbald in eine so gesunde Richtung zu bringen, daß jene Experimente Galvani's und Volta's, die zu der nichtssagenden Kontakttheorie führten, wahrscheinlich bald nach ihrem Bekanntwerden das richtige Verständnis gefunden haben würden.

Auch mit Siegellacktropfen habe ich viel experimentiert und die darauf bezüglichen Ergebnisse bringen uns wieder dem Versuche nahe, wovon wir ausgingen (S. 54).

Wenn Lacktropfen elektrisch werden, so ist das aber eine ganz andere Sache als bei den Schwefeltropfen. Zunächst fällt in hohem Grade auf, daß die Elektrizität der ersteren sich nur mittelst Kondensation, also nur mit Probe IIa, die ja zugleich selber Temperatursteigerung setzt, nachweisen läßt. Denn während der Schwefeltropfen, auch wenn er mit vorgestreckten Armen und mit einem Pendel an fußlangem Balken untersucht wird, dasselbe ebenso

stark anzieht und abstößt als unter gewöhnlichen Umständen, ist der Lacktropfen, von weitem mit IIa geprüft, zunächst unelektrisch und dann erst ein, zwei bis mehrere Millimeter negativ, in der Nähe aber sofort negativ. Oder: Wenn man ein Kupferblech mit einem frisch gegossenen oder alten Lacktropfen in den um etwa vier Grade kühleren, aber doch noch 13° warmen Zwischenfensterraum legt, und den ersteren nach ein paar Stunden oder auch früher ebendaselbst rasch mit IIa untersucht — dies geschieht am einfachsten dadurch, daß die eine Ecke des Pendelblättchens, wie Figur 25 andeuten will, zugleich das Blech berührt —, so erweist es sich unelektrisch; aber bei der zweiten, kaum eine Minute später nach abermaligem Oeffnen des Fensterflügels angestellten Probe erhält man an 10 mm Negativität. Durch das erste Oeffnen des letzteren wurde nämlich alles im Zwischenfensterraume plötzlich erwärmt, weil die Zimmerluft und Körperwärme hineinströmte, und das Metall war dafür am empfänglichsten, strahlte die Wärme aber größtenteils sofort wieder aus; nur an der Stelle, wo es mit einem schlechten Wärmeleiter, dem Lacktropfen, bedeckt ist, ward die Wärmeausstrahlung ebenso wie jene des Kopfes gehemmt, wenn man eine Mütze aufsetzt. Daher wurde der Tropfen selber wärmer als das unbedeckte Kupferblech, und blieb es, dank seinem geringen Strahlungsvermögen, auch nach der rasche Abkühlung bewirkenden Schließung des Fensters noch längere Zeit, wogegen durch das zweite Oeffnen und die abermalige Probe IIa plötzliche Wiedererwärmung gesetzt ward. Hieraus erhellt: Der frischgegossene Lacktropfen ist nur darum elektrisch, weil er noch in der Abkühlung begriffen ist, durch die Kondensatorprobe jedoch rasch von neuem erwärmt wird. Auf den Schwefeltropfen aber wirken die obigen Manipulationen gar nicht ein; bei ihm macht die mit der normalen Probe IIa verbundene Wiedererwärmung gar nichts; beim Lack dagegen thut sie alles: Dort war die blitzschnelle Abkühlung, hier ist die plötzlich gesteigerte Erwärmung der zwar schon beträchtlich, aber doch nur relativ wenig abgekühlten Masse die unmittelbare Ursache der Elektrizität. Immer muß man bei diesen vergleichenden Versuchen daran denken, daß der Lack dem Schwefel gegenüber sich nur langsam abkühlt — tropft etwas Siegellack auf den Finger, so verbrennt man sich; fallen aber einige Schwefeltropfen auf die Hand, so läßt sich das sehr gut aushalten, und von einem einzelnen fühlt man fast gar nichts. Daher ist es im übernormal, z. B. 20° warmen Zimmer notwendig, daß der Lacktropfen aus beträchtlicher, d. h. mindestens 25 cm betragender Höhe auf das Blech niederfalle, weil dasselbe sonst von dem brennenden Ende der Siegellackstange zu sehr erhitzt wird; ferner, daß das Blech auf einem massigeren Stücke Eisen oder dergleichen liege, damit die Wärme, welche das erstere empfing, so rasch wie möglich abgeleitet werde und der Tropfen nicht

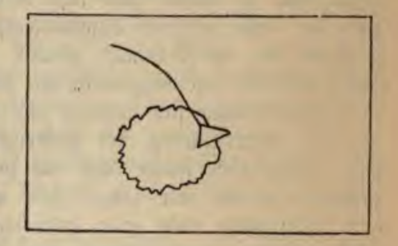


Fig. 25.

zu warm bleibe. Denn legt man das Kupferblech auf einen schlechten Wärmeleiter, z. B. auf völlig trockenes Papier, so bekommt man in einem so warmen Raume kaum eine Spur von Elektrizität; sofort aber an 10° und mehr, nachdem man einen Hammer, eine Schicht Kupferbleche, einen Amboß statt des Papieres untergeschoben hat. Ist das Zimmer jedoch kalt, d. h. nur 10—14° warm, so wird schon durch die eigene Kälte des Bleches eine ausreichend schnelle Abkühlung des Tropfens bewirkt, sodaß für gute Wärmeableitung nichts besonderes gethan zu werden braucht. Ueberhaupt eignet sich zu diesen (und sehr vielen anderen) Versuchen die kalte Jahreszeit, wo man niedrige Zimmertemperaturen umsonst haben kann und nicht so stark wie im Sommer strahlt, am allerbesten; geradezu notwendig ist Kälte aber für die folgenden, wo wir Positivität erzeugen wollen.

Wenn man sich nämlich viel und unter den verschiedensten Umständen mit der Untersuchung der Lacktropfen auf Elektrizität beschäftigt, so stößt man früher oder später auch auf positive; allein dieselben nach Belieben herzustellen, wollte mir lange Zeit nicht gelingen. Alles sprach dafür, daß diese Positivität nicht eine subnormale, sondern nur die normale sei, daß also zu ihrer Hervorrufung eine Abkühlung gehöre, die auf einer etwas höher als gewöhnlich liegenden Temperaturstufe nahezu stehen bleibt (vergl. S. 56 f). Da vorgewärmte Metallplatten den gewünschten Erfolg nicht geben, so machte ich umgekehrt den Lack heißer und hielt darauf, daß die Platte, das Kupferblech, nicht über mittlere Zimmertemperatur, sondern nur 12—14° besaß und abgeleitet war, damit die aufschlagenden Tropfen nicht wieder zu warm blieben. Nun ging die Sache. Während nämlich mit den dünnsten Siegellackstangen, bunten Salonlacken, die sehr leicht in Fluß geraten, also bloß an dem letzten Ende heiß gemacht zu werden brauchen, nur dann Positivität zu bekommen war, wenn sie vor der Erhitzung an der Flamme längere Zeit im Kalten, z. B. draußen bei 0° vor dem Fenster, gelegen hatten und hierauf, um einen Tropfen zu geben, viel länger brennen, also viel länger, als wenn sie Zimmertemperatur hatten, erhitzt werden mußten, gelang es im kalten Zimmer und auf kalter Platte leicht von einer möglichst dicken Stange von feinstem Lack mit Probe IIa starke, d. h. bis 30 mm positive Tropfen zu bekommen, falls das tropfende Lackende hoch genug (25—30 cm) gehalten ward: Denn diese dicke Lackstange mußte, damit ihr Ende bei fortwährendem Drehen gehörig in Fluß kam, mindestens ebenso lange wie die stark abgekühlte dünne erhitzt werden. Ungewöhnlich heiß muß der sich ablösende Tropfen sein und sich nur bis zu einem gewissen Grad abkühlen können, wenn er unten auf der Platte positiv werden soll. Daß dem so ist, bestätigen auch die folgenden Beobachtungen.

1. Alle positiven Lacktropfen kleben auf ihrer metallenen Unterlage fest auf, die negativen hingegen lassen sich sogleich fortschieben. Wenn wir aber Lack auf Metall aufkleben wollen, so müssen wir es zuvor warm, ja heiß machen, und wenn das Petschaft nicht ankleben soll, so muß es kalt sein. Folglich war unsere Kupferplatte im Augenblicke, wo der kleben bleibende Tropfen auf sie aufschlug, viel wärmer geworden als im andern Falle, wo der nachher leicht verschiebbare auf sie auftraf. Und davon, daß die Hitze

des erstgenannten Tropfens viel größer war als die des letzteren, zeugt auch ein anderer Umstand: Rings um den kleben bleibenden, sich als positiv erweisenden Tropfen ist die blanke Oberfläche des Kupfers blind geworden, gleichsam angelassen; der leicht ablösbare aber, der negative, hat niemals einen solchen Hof. Es gelingt sogar, einen Tropfen von Schwefel auf ähnliche Weise und zwar dadurch positiv zu machen, daß man ihn nicht bloß bis er schmilzt, sondern bis er bräunlich und dickflüssig wird, erhitzt, also wenn er, wie der lange in der Flamme gehaltene dicke Lack viel heißer wie gewöhnlich ist. Indessen läßt sich die Positivität der Schwefeltropfen selten und zwar nur mit IIa erzielen, auch muß zu diesem Zwecke die Platte nahezu eiskalt sein. Kühlt man dieselbe jedoch bis auf einige Grade unter Null ab und erhitzt eine dicke Siegellackstange möglichst lange, so bekommt der darauf gefallene Tropfen keinen Hof und ist mit IIa nicht mehr positiv, sondern bis 10 mm negativ; der nächste aber, den man 1—2 Minuten später auf dieselbe Platte fallen läßt, ist meist schon unelektrisch, und der dritte klebt wieder fest und ist positiv, 10 und mehr. Dies ist also die
+
normale Positivität, und das erstere die normale Negativität; die letztere wird beim Lack, wie immer, durch Wiedererwärmung nach größer, und die Positivität durch Wiedererwärmung nach geringerer Abkühlung erzeugt. 2) Wenn ich auf dem Küchenherde ein paar Eßlöffel voll Schellack schmelze, ihn hinüber in mein 6—8 Schritte entferntes, nur ca. 15° warmes Zimmer trage und daselbst auf eine isolierte (auf Siegellack liegende) Glasscheibe ausgieße, so wird der mindestens 2 mm dicke Kuchen, der durchaus keine Sprünge bekommt, samt dem Glase in ungefähr 5 Minuten mit Probe IIa zunehmend und zwar negativ elektrisch, z. B. $^1/_2$ 1 $1^1/_2$ 3 3; gieße ich aber den Lack auf eine ebensolche Glasscheibe gleich in der heißen Küche, nämlich auf dem vom Herde nur einen Schritt entfernten Küchentische möglichst rasch aus, so wird der erstarrte, bald ebenso dicke Kuchen samt dem Glase auf seinem Platze ca. 2 Minuten mit IIa bis 3 mm positiv. Der physikalische Unterschied liegt also in der Abkühlung: Während der Lack im Schmelzgefäße bis in das kühle Zimmer getragen wurde, kühlte er sich bereits so stark ab, daß er beim Ausgießen dickflüssig war; auf dem kurzen Wege vom Herde nach dem Küchentische aber geschah dies so wenig, daß die Masse noch sehr leicht floß. Und auf dem letzteren, wo das Thermomiter an 25° zeigt, setzte sich die Abkühlung des Kuchens natürlich um viele Grade weniger weit fort als in dem ca. 10° weniger warmen Arbeetszimmer. 3. Wird ein gewöhnliches, in Holz gefaßtes Zimmerthermometer in der Ofenröhre bis auf ca. 55° erwärmt — es ist während dessen unelektrisch —, hierauf rasch in das $17^1/_2$° warme Arbeitszimmer getragen und auf die Kollektorplatte eines gewöhnlichen Goldblattelektroskopes gelegt, so ist der Holzrahmen, während das Quecksilber binnen kaum 3 Minuten von 45° bis auf 32° fällt und die Goldblättchen sich durchaus nicht rühren, mit IIa bis 5 mm positiv, dann allmählig weniger, und wenn die Temperatur bis auf 25° gesunken ist, vollkommen unelektrisch. Diese Neutralität dauert aber nur so lange, bis die nunmehr immer langsamer fallende Tempe-

ratur noch 22° beträgt; denn bei 21° ist das Holz schon 1 mm negativ, bei 20° an 2 mm, und bei 19° sogar an 3 mm negativ. Alsdann nimmt die Negativität langsam ab, ist bei $18^1/_2$° noch 2 mm und eine halbe Stunde später dauernd verschwunden. Hier also kommt einem der Glaube in die Hand, daß die während des Abfalles der Temperatur in hoher Lage, nämlich etwa bei 40° bis 25° auftretende Elektrizität positiv, und daß die in tiefer Lage, nämlich bei 22° bis 18° erscheinende negativ ist; und entsprechend den Temperaturen und der großen Temperaturbreite des stark und gleich lange geriebenen Glases und Harzes, die bei ersteren bis an 30°, bei letzterem aber nur etwa bis 22° erreicht (S. 65), muß jenes für die normale Positivität, und dieses für die normale Negativität gehalten werden.

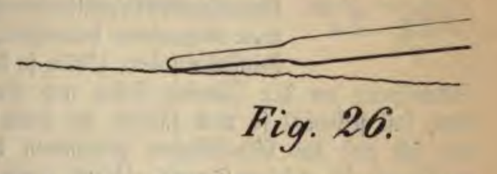
Nach alledem ist endlich auch zu vermuten, daß ein auf Zink gefallener Lacktropfen viel leichter bez. stärker positiv werden muß, als einer der auf Kupfer fiel, mit anderen Worten, der erstgenannte muß unter Umständen, wo der letztgenannte nur erst negativ wird, schon positiv werden, weil das Zink, wie wir bewiesen zu haben glauben, sich viel stärker erwärmt als das Kupfer. Und wirklich! Jene so leicht schmelzenden dünnen Salonlacke, die, wenn sie nicht stark erkältet waren und infolgedessen bis zur Tropfenbildung verhältnismäßig lange brennen mußten, im unternormal warmen Zimmer auf dünnem, d. h. 0,2—0,5 mm dicken Kupfer stets nur negative Tropfen gaben, liefern unter denselben Umständen auf ebenso dickem Zink augenblicklich positive Tropfen: das Zink ward durch den glühenden, sich blitzschnell nähernden und auftreffenden Tropfen stärker als ein gleich dimensioniertes und gleich niedrig temperiertes Stück Kupfer erhitzt und kühlte unmittelbar darauf zunächst auch weniger ab als dieses, das Kupfer. Im Sommer lassen sich diese interessanten Versuche allerdings nicht ausführen; denn dazu sind das Zimmer samt den Platten und dem eigenen Leibe viel zu warm bez. zu feucht.

Hieran schließt sich die Darlegung der Gründe, warum der mit trockener Wolle geriebene Glasstab nicht wie der mit demselben Reibzeuge geriebene Harzstab negativ, sondern positiv wird.

Ueber die Reibungselektrizität des Harzstabes ist bereits Seite 56 und 57 das Nötige gesagt und zu jener des Glasstabes sind schon in der Vorrede einige Bemerkungen gemacht worden. An beiden Orten wurde gezeigt, daß auch die Elektrizität der geriebenen Stäbe je nach der Temperatur derselben positiv oder negativ ist; da nun beim Harzstabe durch Reibung, die ihn stärker als Wolle erwärmt, statt Negativität die entgegengesetzte und zwar viel stärkere Elektrizität auftritt, und beim Glasstabe, wenn er vor der mit Wolle ausgeführten Reibung erwärmt ward, Negativität statt Positivität erscheint, so entsteht im Beihalt zu dem, was wir über die verschiedene Erwärmbarkeit des Zinks und Kupfers gesehen haben, die Vermutung, daß Glas und Harz sich zu einander verhalten wie Zink und Kupfer, daß also das Glas sich durch die gleiche Reibung stärker erwärme als das Harz.

Um mir dies klar zu machen, verfuhr ich folgendermaßen.

Von zwei gleichgehenden und auch sonst fast ganz gleichen sogenannten chemischen Thermometern umhüllte ich das Gefäß des einen mit einer nur 0,3 mm dicken, spiegelblank gemachten Siegellackschicht und ließ das des andern nackt. Zu den eigentlichen Versuchen war das Zimmer kühl, meist nur 12—13° warm, und auf den Tisch ein wollenes Reibzeug genagelt. Ich übte mich nun darin mit dem Gefäße von jedem der beiden Thermometer ein, zwei und mehrere Male auf dem Reibzeuge möglichst denselben Strich, d. h. ihn mit derselben Neigung des Thermometers zum Reiber, mit demselben Drucke und mit derselben Geschwindigkeit zu machen (Fig. 26). Als dies erreicht war, ergab sich durch sehr zahlreiche Versuche, daß das z. B. fünfmal je 15 cm lang auf der Wolle hingestrichene nackte Thermometer ungefähr um dreimal so viel stieg als jenes mit dem Lacküberzuge unter den nämlichen Umständen, und daß das letztere sich trotz der geringeren Erwärmung kaum halb so schnell wieder abkühlte als das erstere. Obgleich dieser Versuch seine Mängel hat, so zeigt er doch sicher, daß das Glas sich bei der Reibung wesentlich leichter erwärmt als der Lack. Um mich jedoch davon, daß das Glas sich überhaupt leichter erwärmt als der Lack, so gut ich konnte, zu überzeugen verglich ich die Geschwindigkeiten, womit kleine Eisstückchen, die das eine Mal auf Glas und das andere Mal auf Siegellack lagen, zu schmelzen anfingen, wenn sie bei einigen Graden unter Null von einer nahezu konstanten Wärmequelle bestrahlt wurden.


Fig. 26.

Ich nahm nämlich im Winter bei Rauhfrost, wo die allabendlich auf einem Tische im Garten ausgelegten Objektträger einen mehr oder weniger hohen Wald von Eiskrystallen trugen, die erste Stunde, sowie man ohne Licht sehen konnte, wahr. Da nun diese Gebilde (Fig. 74a) einander außerordentlich ähneln, so ist es leicht unter dem Lupenmikroskope bei 15—30 facher Vergrößerung zwei nahezu gleiche auszuwählen und auf das Ende eines kalten Stäbchens zu bringen, weil sie, von ihm berührt, unter der Bedingung daran haften bleiben, daß die Temperatur nicht sehr viele Grade unter Null liegt. Natürlich müssen diese, wie alle Beobachtungen gefrorener Niederschläge, damit die Wärme des Beobachters so wenig wie möglich störe, nicht nur in einem Raum, der mehrere Grade Kälte zeigt und mit Instrumenten, welche die niedrige Temperatur der Außenluft vollkommen angenommen haben, sondern auch bei offenem Fenster im Hausflur, wo etwas Zug ist und die mitgebrachte Wärme größtentheils wieder verweht, gemacht werden. Ist nun die Kälte (für unser Klima) sehr groß, d. h. beträgt sie 10° und mehr, so springen die nahezu senkrecht stehenden Einzelkrystalle, sowie man sie mit einer entsprechend abgekühlten Nadel u. dergl. berührt, augenblicklich fort, und jene am Rande des Objektglases, die allezeit am größten sind, oft bis weit über denselben hinunter, was ganz und gar den Eindruck einer elektrischen Abstoßung macht. Ist es aber weniger kalt,

so sieht man dieses Fortschnellen der Krystalle nicht mehr, sondern sie bleiben an dem Stabe, womit man sie — mit mikroskopischer Vorsicht — berührt, hängen (Vergl. Kap. 18). Als Stäbchen benutzte ich zwei gleiche, feine und ganz trockene Pinselstiele: In das übers Kreuz gespaltene dickere Ende des einen wurde ein etwa 15 mm langes und 1 mm dickes (von einer Thermometerröhre ausgezogenes) Glasstäbchen G geklemmt (Fig. 27), während das kreuzweis gespaltene Ende des andern Pinselstieles mit einem dem Glasstäbchen möglichst kongruenten Einsatze von Siegellack in ganz derselben Weise versehen war. Wenn ich nun mit angehaltenem Atem unter der Lupe einen Rauhreifkrystall auf das Lackstiftchen nahm und, während ich ihn gleichfalls ohne auszuatmen betrachtete, in Gedanken möglichst rasch, also Fünftelsekunden, zählte, so konnte ich, ehe die erste Spur von Schmelzung an den scharfen Ecken und Kanten des Objektes wahrnehmbar war, fast sechsmal so weit zählen, als wenn ich einen gleichgroßen Eiskrystall, den ich auf das Glasstiftchen genommen hatte, unter denselben Vorsichtsmaßregeln in gleichem Tempo zählend beobachtete. Mithin wurden in beiden Fällen die verschiedenen Stoffe, worauf das Eis lag, verschieden rasch erwärmt, und so ergaben die Versuche, wie oft sie auch angestellt wurden, regelmäßig, daß das Glas bei einigen Graden unter Null sich durch meine Wärmestrahlen mindestens fünfmal leichter als Lack erwärmt, was ja auch mit dem wenigstens gegen Ebonit ungefähr viermal größeren Wärmeleitungsvermögen des Glases übereinstimmt.

G

Fig. 27.

Hiernach darf als sicher angesehen werden, daß der Glasstab auch bei der Reibung sich viel stärker erwärmt als der Harzstab, und hieraus folgt wiederum, daß nach beendigter Reibung der Glasstab sich zum Harzstabe ganz ähnlich verhält wie der auf die Kupferplatte fallende sehr heiße Siegellacktropfen zu einem unter sonst gleichen Umständen viel weniger heiß auftreffenden. Ebenso wie die Positivität des ersteren durch rasche Abkühlung und Wiedererwärmung in hoher, und die Negativität des letzteren durch dieselben in tieferer Temperaturlage entsteht, ebenso wird auch die Positivität des geriebenen Glas-, und die Negativität des geriebenen Harzstabes umgekehrt durch schnelle Erwärmung und Abkühlung zustande kommen.

Daß aber bei der Elektrizitätserregung durch Reibung weder die rasche Erwärmung noch die rasche Abkühlung allein, sondern stets beide zusammen, die eine so sehr wie die andere, wirksam sind, zeigt endlich der folgende überaus einfache Versuch.

Glasstab und Amalgamreibzeug werden über dem heißen Herde oder in der heißen Röhre, vorausgesetzt, daß beide frei von Wasserdampf sind, minutenlang möglichst stark erhitzt, alsdann unverzüglich einmal aneinander gerieben und der erstere sofort einem bereitstehenden, positiv geladenen Pendel genähert: Es rührt sich entweder gar nicht oder nur eine Spur. Reibe ich aber sogleich hierauf den schon nicht mehr heißen, sondern nur noch warmen Glasstab an demselben Reibzeuge, das sich natürlich gleichfalls merklich abgekühlt hat, noch einmal ebenso wie vorher, so zeigt er sich schon stärker

positiv, und nach der unmittelbar sich anschließenden dritten Reibung noch weit mehr. Bei der ersten war durch die verhältnismäßig geringe Reibung kaum eine Wärmesteigerung des Stabes, und, weil er jedenfalls auch im Innern sehr warm geworden war, eine nur sehr geringe Abkühlung desselben möglich; je mehr jedoch Stab und Reibzeug an Wärme verloren, umsomehr konnten sie sich nach einer gleichgroßen Reibung auch von neuem erwärmen und wieder abkühlen. Schnell, sehr schnell muß die Abkühlung geschehen, denn sonst würde der aus der Röhre herausgenommene Stab, was niemals der Fall ist, eo ipso elektrisch werden; seine Abkühlung kann aber nur dann so rasch vor sich gehen, wenn er nicht durch und durch heiß, wie in der Röhre, sondern, wie bei der Reibung, nur außen warm geworden ist.

Kapitel X.

Weiteres über Erwärmungs- und Abkühlungselektrizität.

Die Wärmesteigerung, welche bei der Reibung eines Harzstabes schon nach dem schwächsten Striche entsteht, läßt sich durch ein einfaches Verfahren so sehr vermindern, daß man erst einige oder sogar zahlreiche subnormale Positivitäten und entsprechend viele dazwischen liegende untere Negativitäten erhält, ehe die normale, gegen Wolle so ganz konstant auftretende und hochgradig steigerungsfähige Negativität erscheint, die nur durch Reibung mit Amalgam in die normale, ungeheuer stark werdende Positivität übergeht. Beim Glase aber, das ja, wenn der Reiber Wolle, und diese feucht und kalt ist, nicht selten negativ wird, zeigt sich nach minimaler Reibung zwar regelmäßig Negativität; allein sie ist schon als die normale anzusehen, und müssen wir es, um mehr von ihm zu erfahren, etwas anders als das Harz behandeln.

Wieder arbeite ich in einem nur mäßig (ca. 15°) warmen Zimmer, nehme nicht blos eine dünne, d. h. höchstens 2 mm dicke Thermometerröhre, sondern ziehe sie an einem Ende noch in eine 2—3 cm lange und 0,3 bis 0,6 mm dicke Spitze, die kugelförmig zurückgeschmolzen wird, aus, und stecke das andere Ende der Röhre, damit sie so vollkommen wie möglich isoliert sei, in ein halbes Siegellackstängelchen. Das Ganze sieht daher aus wie eine feine Knopfsonde. Fig. 28. Aber ohne die sich naturgemäßerweise äußerst schnell abkühlende fadenförmige Verdünnung des Glasstäbchens läßt sich an ihm nach trockener Reibung durchaus nicht die Elektrizität beobachten, welche wir nun beschreiben wollen.

Nachdem dieses Instrument, wenn es nicht schon vorrätig war, auf einer dicken, metallenen Unterlage ein paar Stunden abgekühlt worden ist, nehme ich seinen Griff in die Hand, mache mit dem Knöpfchen auf dem wollenen Rockärmel einen kurzen und leichten, aber schnellen Strich und

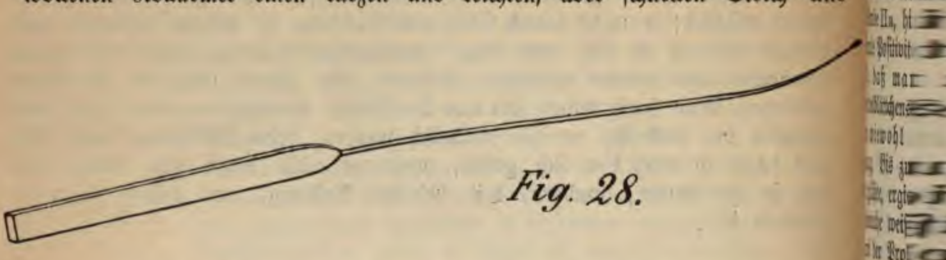


Fig. 28.

bringe es geschwind an ein bereit stehendes, äußerst empfindliches Pendel: Bisweilen schon nach dem ersten, meist aber nach dem zweiten in der angegebenen Weise ausgeführten Striche fällt auf, daß das Goldblättchen an jenem mehr oder weniger hängen bleibt, und wenn man es dabei rasch einen Augenblick mit der kondensierenden Stricknadel berührt, so geht es nachher vor dem gewöhnlichen, großen geriebenen Glasstabe $^1/_2$ bis $1^1/_2$ mm fort: Der kleine Sondenknopf war also negativ. Es ist das freilich wieder einmal recht wenig; aber wie überall, wo man in naturwissenschaftlichen Dingen einer Sache auf den Grund geht, so gilt auch bei der Erforschung des Ursprunges der Elektrizität das fast mikroskopisch Kleine ebensoviel wie das makroskopisch Große, und können ja die Anfänge von allem, was entsteht, nicht anders als scheinbar unbedeutend sein. Meist gelingt dieser Versuch sogleich noch einmal; bisweilen jedoch, nämlich bei trockener Luft, erhält man schon nach der zweiten, gewöhnlich aber nach der dritten Reibung Null, und hierauf, zumal wenn etwas stärker bez. zweimal hintereinander gerieben wurde, 1—2 mm Positivität, und zwar bereits mit Probe I, also nach der bloßen Berührung, wobei übrigens die betreffende Ecke des Pendelblättchens noch viel fester als bei den allerersten Versuchen kleben bleibt. Die nach wiederholter bez. stärkerer Reibung, also nach stärkerer Erwärmung und weniger weit heruntergehender Abkühlung entstandene positive Elektrizität ist also sehr viel stärker als die ihr voraufgehende negative; sie läßt sich aber auch nicht, wenn man das Knöpfchen auf dem mit Amalgam versehenen Leder reibt, wieder umwandeln, sondern meist nur schwächen und höchstens in Null überführen. Daher ist sie die gewöhnliche Reibungselektrizität des Glases die normale Positivität, während die Negativität, aus welcher sie entstand, die normale, d. h. diejenige Negativität ist, welche der mit Wolle in der üblichen Weise geriebene Harzstab annimmt. Und reihen wir nun die von unserer Glassonde erhaltene Elektrizitätsfolge $0 - 0 + 0$ an jene, welche Heintz von dem gewöhnlichen Harzstabe, nachdem er ihn mehrmals durch die Spiritusflamme gezogen hatte, durch erst schwache und darauf stärkere Reibung erhielt (siehe Vorrede), nämlich die zwar ebenso aussehende, aber in höheren Temperaturlagen von neuem erzeugte, also höher

rangierende Folge — o +, so ergiebt sich die immerhin schon ansehnliche Kette o — o + o — o +.

Ohne vorhergehende Reibung erhält man nun sowohl von der feinen Glassonde als auch von jedem isolierten Metalldrahte, dort zwar erst mittelst Probe IIa, hier aber schon mit I eine übernormale Negativität und eine übernormale Positivität, nachdem beide in der Flamme so stark erhitzt wurden, daß man sich daran verbrennt, wenn damit statt der Ecke des Pendelblättchens der Handrücken berührt wird, also infolge der raschen, wiewohl noch lange nicht vollkommenen Abkühlung nach Erhitzung. Bis zur Rotglut erhitzt oder richtiger, nachdem er einen Augenblick rot glühte, ergiebt der Glasknopf aber 1—2 mm Positivität, und nachdem er beinahe weiß glühte, ungefähr ebensoviel Negativität; wogegen das Metall mit der Probe I oft bis 20 mm negativ wird nach schwacher, und positiv nach starker bis zur Rotglut reichender Erhitzung, das letztere aber nur unter der Bedingung, daß man seinen isolierenden Griff nicht aus der Hand legt, also den raschen Niedergang seiner Temperatur auf einem gewissen Punkte aufhält (S. 78). Wahrscheinlich hat die Negativität bez. Positivität der beiden erhitzten Körper infolge ihrer verschiedenen spezifischen Wärme verschiedenen Rang; doch bedarf dies genauerer Untersuchungen, und wollte ich hier nur ganz im allgemeinen darauf hinweisen, daß gute und schlechte Leiter, auch wenn sie noch heiß sind, sich aber doch schon sehr abgekühlt haben, ohne Weiteres und eben durch die plötzliche Abkühlung nachweisbar elektrisch werden, sodaß z. B. die Gewittererscheinungen, welche vulkanische Ausbrüche so regelmäßig begleiten, sich durch die in der Luft, je höher hinauf die Auswurfsstoffe steigen und je weiter sie sich ausbreiten, umso rapider wechselnde Erwärmung und Abkühlung leicht erklären lassen. Die starke, den vulkanischen Ausbrüchen schon mehr oder weniger lange vorhergehende Bildung von Gewitterwolken ist aber zweifellos dasselbe, wie wenn eine Metallplatte, die man über die Spiritusflamme hält, rings um die erhitzte Stelle sehr bald mit Unmassen von Wassertropfen beschlägt; denn der Krater muß vor dem Ausbruche schon so furchtbar heiß geworden sein, daß die zu Wolken verdichteten heißen Wasserdämpfe sich überall auch selber rasch abkühlen, senken, weil sie unaufhaltsam schwerer werden, sich wieder erwärmen und steigen, zerreißen und so fort, bis die Temperaturdifferenzen des ganzen großen Luftbezirkes sich bis zu dem Grade ausgeglichen haben, wo die noch stattfindenden Temperaturänderungen zur Elektrizitätserregung zu gering geworden sind. Daher ist zu schließen, daß auch beim gewöhnlichen Gewitter alles ganz ähnlich, nur zugleich unter der Herrschaft eines außerordentlich heftigen und sehr ausgebreiteten Luftstromes abläuft, ja daß auch die Wintergewitter von dem Temperatursturze herrühren, der auf relativ große Wärme beim Umschlage der Windrichtung folgt, und der in der Höhe wahrscheinlich noch größer war. Ferner: Wenn kalte, nordwestliche Winde vom Lande her über den so ungemein warmen Golfstrom wehen, dann kommt es über demselben häufig zu Wasserhosen, und ganz richtig schreibt man das dort dem starken „Temperaturgegensätze“ zu. Genau genommen ist es aber die plötzliche Abkühlung,

die gewisse Stellen der Bewölkung in weit höherem Grade als das Meer erleiden; denn infolge dessen verdichten und senken sie sich nicht nur sehr bedeutend, sondern sie werden durch den Temperatursturz auch stark elektrisch und influenzieren die ihnen gegenüberliegende Fläche der See. Die Wasserhose zeigt also im großen das Bild von zwei einander gegenüberstehenden und sich wechselseitig elektrisierenden und anziehenden Tropfen, das uns später (Kap. 16) beschäftigen wird.

Endlich dürfte zur Bekräftigung dieser Behauptungen der folgende Versuch dienen, der im Kältekabinet freilich sehr vervollkommnet werden könnte. An einen Amboß, der am 1. Januar 1896 draußen bis auf — 3° abgekühlt und in das nur 12° warme Zimmer isoliert auf dem Tisch gestellt worden war (die Temperatur der isolierenden Unterlage hatte sich im Zwischenfensterraum bis auf + 1° ermäßigt), lehnte ich die schon auf dem Tische stehende, $1^1/_2$ mm dicke Zinkplatte in der Weise, wie das Schema hierneben andeutet.

Wurde nun die obere freie Kante der Platte, die in dieser Lage jedenfalls im Laufe der ersten Minute rasch viel kälter ward, sofort und so schnell wie möglich viermal hinter einander mit Probe IIa untersucht, so erhielt ich 0 5 10 10, also entstehende und rasch bis zu einem gewissen Punkte
+ + +
zunehmende Abkühlungselektrizität. Und hatte der Amboß sich ein anderes Mal bis auf etwa — 10° abgekühlt, so erschien oft nur bei der ersten Probe Positivität, dann schnell zunehmende Negativität und hierauf null; ja sogar Positivität trat schließlich wieder auf, wenn nämlich der Amboß noch kälter, d. h. ungefähr — 15° war.

Ergab die verfeinerte Reibung des Glases Interessantes, so müssen wir dieselbe auch am Harze und zwar umsomehr studieren, als es auf schrittweise stärker werdende Erwärmung durch Reibung mit mehrmaligem, unter Umständen sogar mit vielmaligem Zeichenwechsel antwortet, bevor es die gegen Wolle so stark werdende Negativität und schließlich, wenn mit Amalgam gerieben, in noch viel größerer Stärke die normale Positivität liefert. Allein nicht blos das Eine, das voll und ganz dem so merkwürdigen Elektrischwerden der Voltaschen Platten durch fortgesetzte schwache Erwärmung, Abkühlung, Wiedererwärmung u. s. w. gleicht (Kap. II), sondern noch eine andere Ueberraschung wird sich uns dabei darbieten, nämlich, daß die nach stärker und stärker werdender Reibung auftretende Elektrizität ebenso mit ein- bis mehrmaligem Zeichenwechsel wieder abklingt, wie die Voltaschen Platten, die der brennenden Lampe sehr genähert wurden (S. 40), bei ihrer Entfernung von derselben mehrmals hintereinander positiv und negativ, bez. negativ und positiv werden.

Da der Harzstab einerseits bei naßkalter Witterung in ungeheizten Räumen, und andererseits wenn er lange, d. h. monatelang offen dagelegen oder noch besser in einem Glase oder dergl. dagestanden, also eine ungewöhnlich dicke Wasserhaut bekommen hat, durch die übliche Reibung mit Wolle nicht so leicht und nicht so stark negativ, weil schwerer warm wird, als wenn die Luft recht trocken, oder wenn er noch von seinem gestrigen Gebrauche

her etwas warm und offenbar noch etwas, wenn auch nicht mehr nachweisbar elektrisch ist: So war anzunehmen, daß er gerade bei kühlem, regnerischen Wetter vor der normalen Negativität die meisten Wechsel zeigen werde; zum mindesten durfte erwartet werden, daß unter diesen Umständen nicht die erste, die der schwächsten Reibung entsprechende Elektrizitätsart in ähnlicher Weise übersprungen werden würde, wie dies ausnahmslos beim Harzstabe geschieht, wenn er mit einem so rasch sich erwärmenden Präparate, wie das Kienmayersche Amalgam ist, gerieben ward. Zu bestätigen schien sich dies zunächst dadurch, daß eine Siegellackstange, die seit Wochen vollkommen ruhig in einem Schubkasten lag, in welchem es ca. 3° kälter als im freien Zimmerraum geblieben war, nach minimaler Reibung mit einem sehr dünnen Drahte erst positiv, zum zweiten Male ein wenig gerieben negativ, nach erneuter Reibung wieder positiv, und erst als dieselbe nochmals wiederholt worden war, bleibend negativ wurde. Jetzt war es aber auch im Tischkasten fast ebenso warm geworden wie außerhalb desselben, und so schien mir nicht zweifelhaft, daß die subnormalen Elektrizitäten die Folge der niedrigeren Temperatur des geriebenen Lackes waren. Um nun die Erwärmung des Siegellackes noch mehr zu erschweren, machte ich ihn oder seine Unterlage naß, indem diese oder jener eine Zeit lang in Wasser gelegt wurde, das 1—2° kühler als das Zimmer war.

Vorausschicken muß ich jedoch einen Versuch, wobei der Harzstab auch ohne die soeben angedeuteten Vorkehrungen ein Mal sein Zeichen wechselt, also ähnlich wie wenn der eine oder andere Glasstab, bei naßkaltem Wetter im ungeheizten Zimmer mit Wolle gerieben, anfangs negativ und erst nach mehrfachem Reiben positiv wird; der Unterschied besteht nur darin, daß der Harzstab unter den sogleich zu besprechenden Bedingungen zuerst positiv und dann negativ wird. Sehr erklärlich; denn da wir oben (S. 65 f) sahen, daß das Glas sich viel leichter erwärmt als der Lack, so erwärmte sich der nach schwächster Reibung zunächst positiv gewordene Harzstab nur bis zur Temperaturhöhe der ersten subnormalen Positivität, der unter ähnlichen Bedingungen aber anfangs negativ werdende Glasstab schon bis zu jener der normalen Negativität.

In einem gewöhnlichen Spunde Sp (Fig. 29 I) steckt ein Federhalter von Ebonit; er stand seit Wochen unangerührt oben auf einem Regale, wo er weder Sonnenschein noch Ofenwärme bekommen hatte, und wurde jetzt (d. 22. Juni 1896 Vormittags) herunter genommen, indem nur sein Fuß, eben der Spund, angefaßt ward. Diesen klemme ich, ohne den Federhalter zu berühren, auf dem Tische, wo 20° Wärme und 51% relative Feuchtigkeit sind, der Länge nach zwischen zwei schwere Gegenstände (Ambosse) ein, um dem frei in die Luft ragenden Stabe eine ziemlich horizontale und feste Lage zu geben, weil er über den oberen Teil r seines freien Endes zunächst mit dem in Figur 29 *II* skizzierten, etwa erbsengroßen, auf ein Holzstäbchen gebundenen Wattebausche C, später mit dem auf ein ähnliches Stäbchen gewickelten feinen Wollgarn *Wf*, und schließlich mit ganz grober Wolle rasch eine kleine Strecke gestrichen, also gerieben werden soll. Bei diesen Strichen, die nicht länger als 6—8 mm waren, wandte ich anfangs möglichst wenig, später

Nach allem, was wir bisher in Erfahrung gebracht haben, dürfte dieser Schluß gerechtfertigt erscheinen; seine Richtigkeit läßt sich aber auch beweisen, wenn die Reibung, die, obgleich sie nur wie Berührung aussah, für das sich verjüngende Ende des Ebonitstabes offenbar schon zu stark war, noch mehr vermindert wird. Ich nehme daher den feinsten Malerpinsel für Wasser-

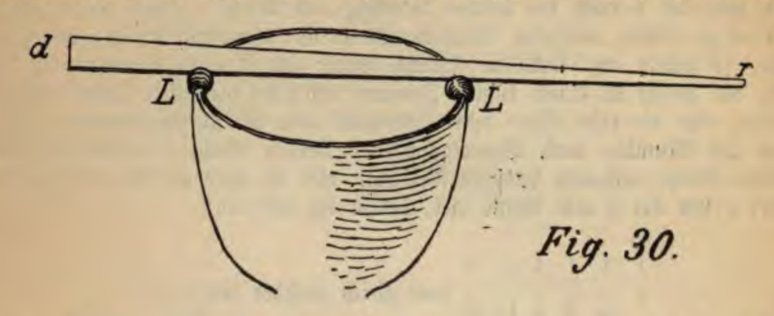


Fig. 30.

farben (Nr. 1) und berühre mit seiner Spitze r wieder so zart wie möglich; IIa ergiebt 0; nachdem ich aber 2—3 mm von r mit der Pinselspitze nur ein einziges Mal sanft bestrichen habe, so ist die Stelle sofort $^1/_4$—$^1/_2$ mm, und nach Wiederholung dieser winzigen Reibung schon 1—1$^1/_2$ mm positiv. Der dritte solche Strich bringt jedoch schon wieder 0 hervor, und der vierte bereits $^1/_2$—1 mm Negativität, die sich beliebig steigern, aber mit Wolle nicht mehr verwandeln läßt.

Dies ist wohl der feinste makroelektrische Reibungsversuch, den man anstellen kann, und sein Resultat o + o — — — läßt vermuten, daß auch die Negativität eines in gewöhnlicher Weise geriebenen und beschaffenen Harzstabes nicht seine erste Reibungselektrizität, sondern schon ein Entwicklungsprodukt aus einer Positivität sei, die nur nach sehr geringer Reibung zum Vorscheine kommt.

Diesem Versuche, der zugleich die relativ sehr starke Temperaturempfindlichkeit der Spitzen veranschaulicht, ist noch ein anderer, schon oben (S. 69) erwähnter, zur Seite zu stellen, wobei, weil er die Erwärmung und Abkühlung eines dünnen, zugespitzten guten Leiters betrifft, die dadurch erregte Elektrizität nicht bloß viel stärker ist als bei einem ähnlich gestalteten schlechten, sondern auch gleich so hoch liegt, daß die zuerst erscheinende sogleich die normale Positivität ist.

Die große, 10—12 cm lange Hälfte einer ca. 1 mm dicken Stricknadel wird mit dem abgebrochenen Ende in ein 4—5 cm langes Stück einer gewöhnlichen runden, etwa 1$^1/_2$ cm dicken Siegellackstange 1 cm tief gesteckt, festgeschmolzen und in ein metallenes Schälchen, z. B. den Deckel L von einer Blechbüchse gelegt (Fig. 31), damit das Ganze hier so lange ruhig liegen bleibe, bis der Lack, der durch die Manipulationen beim Einsetzen der Nadel mehr oder weniger negativ geworden ist, mit IIa nirgends mehr, namentlich aber nicht bei u, wo ja am meisten gedrückt worden ist, eine Spur von Elektrizität zeigt. Dies ist in der kalten Jahreszeit schon am andern Morgen

Dies ist dieselbe Positivität wie zu Anfange der Reihe 1, also die erste subnormale, und sie entstand nur durch die Anwendung der Probe II a, also schon durch die erste kleine Wiedererwärmung und Abkühlung, nämlich darum, weil die so vielmal und schließlich recht kräftig geriebene Stelle r sich noch nicht wieder ganz abgekühlt hatte, sondern ungefähr noch so warm war wie bei 1 nach der dritten Reibung mit Watte. Denn wenn ich r, statt es zu reiben, wie eine Voltasche Platte nur fortgesetzt mit II a behandelt hätte, so würde ich, weil der schlechte Leiter sich schwerer erwärmt als der gute, die Probe in einem kühlen Zimmer und sehr viel öfter haben machen müssen, ehe die erste Spur von Elektrizität zum Vorschein gekommen wäre. Auch 10 Minuten nach Beendigung der kleinen Reihe 2 erhielt ich auf dieselbe Weise nochmals dasselbe Resultat. Als ich aber wieder 10 Minuten später r wie bei 1 mit Watte rieb, bekam ich mit II a

$$\overset{C}{\frac{1}{0}}\;\;\frac{1}{1/2}\;\;\frac{1}{3}\;\;\frac{1}{8}\;\;\frac{1}{15}\;\;\frac{2}{25}$$ und gleich nachher mit I $\frac{1}{2}$,

also schon durch in kurzen Pausen wiederholte, sehr schwache Reibung sehr stark werdende, und wie ich hinzufüge, die bleibende, die normale Negativität. Zweifellos war r, bevor es von neuem gerieben wurde, infolge der zweimal fünf Proben mit II a noch nicht wieder so kalt geworden, wie vor Beginn des Versuches 1; sonst würde es nicht nach den letzten sechs leichten Strichen mit Watte schon so stark negativ geworden sein wie bei 1 nach achtmal mehr und schließlich recht starken Strichen. Jetzt konnte also subnormale Positivität nach Reibung ebenso wenig zur Beobachtung kommen, wie wenn wir Harz oder Schwefel in die Hand nehmen und tüchtig reiben. Das spricht dieselbe Sprache wie die bekannte Erfahrung, daß der gestern gebrauchte Stab, heute, nachdem er nur ein einziges Mal leicht durch das Reibzeug gezogen ward, sogleich stark elektrisch ist, obgleich er unmittelbar vorher noch ganz unelektrisch war.

Endlich sei noch Folgendes erwähnt. Wenn nicht das dickere untere, sondern das dünne obere Ende des Federhalters, nachdem man ihn, damit er ruhig liege, in ein auf ein Weinglas geklebtes riemenartiges Doppellager von Siegellack (L L in Fig. 30) gelegt hat, bei gewöhnlicher Zimmertemperatur ganz ebenso wie das erstere gerieben wird, so meldet die Probe II a schon nach dem ersten, sanften 6—7 mm langen, mit dem Wattebäuschchen C (Fig. 29) ausgeführten Striche sofort auffallend starke, d. h. 10 und mehr Millimeter Negativität, und sogar, wenn r von jenem nur einfach und zwar so sanft wie möglich berührt ward, 1—2 mm Negativität, die schon nach dem fünften oder sechsten leichten Striche mit C mittelst Probe I nachweisbar und bereits die normale ist, da sie durch zunehmende Reibung mit Wolle nur stärker und stärker wird, nicht aber in Positivität übergeführt werden kann. Dank seiner Schmächtigkeit und wenn auch nur sehr unbedeutenden Zuspitzung erwärmt sich das obere Ende des Federhalters schon nach so schwacher Reibung in solchem Grade, daß die subnormale Positivität, die wir am dicken Ende d so gut bekamen, übergangen wird.

der Zeit zwischen der ersten und zweiten Probe am schnellsten vor sich gegangenen Abkühlung sein, ein Vorgang, der sich aus der Langsamkeit, womit der schlechte Wärmeleiter Lack im Verhältnisse zu dem guten Wärmeleiter Eisen kälter wird und dadurch die schnelle Abkühlung der Nadel anfangs verzögert, ohne Weiteres erklärt. Freilich wurde auch der Griff an den Stellen, wo er angefaßt worden war, schwach, d. h. mit II a nachweisbar negativ, und man könnte vielleicht sagen, daß die Elektrizität der Nadel davon herrühre. Dem widerspricht aber, ganz abgesehen von andern Gründen, gerade der späte Eintritt des Maximums; denn was sollte die Elektrizität, wenn sie aus dem Griffe stammte, hindern sogleich in voller Stärke in der Nadel zu erscheinen.

Die Elektrizität der Stricknadel läßt sich aber bedeutend verstärken, wenn man statt des so sehr dicken, runden Lackes zum Griffe den dünnsten viereckigen, der käuflich ist, nämlich die feinen bunten Pariser nimmt, die, weil sie höchstens 7 mm Durchmesser haben (Fig. 32), sich viel leichter er-

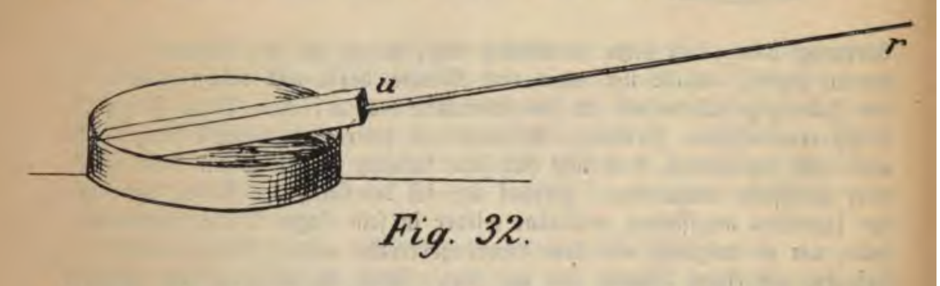


Fig. 32.

wärmen und abkühlen. Wieder ist das Zimmer nur 15 ° warm und die Luft trocken. Nachdem ich den Griff nun kaum 20 Sekunden in der nicht einmal besonders warmen Hand gehalten habe, bleibt das Pendel, während ich jenen noch halte, an der Nadelspitze fast unlösbar kleben und ist, wie sich später ergiebt, an 2 mm negativ. Nachdem ich aber den Griff wieder in seinen Blechdeckel gelegt und die Nadelspitze so schnell wie möglich mit einem andern gleich guten Pendel untersucht habe, kommt eine Ueberraschung! Deutlich angezogen und sogar ein wenig abgestoßen wird die Ecke des Pendelblättchens von der Nadelspitze schon bei der ersten Probe, bei der unverzüglich darauf vorgenommenen zweiten und dritten aber noch viel mehr, sodaß der Ausschlag vor dem Ebonitstabe in maximo über 30 mm beträgt! Dies ist also eine unter allen Umständen schon recht starke Spitzenwirkung, die Elektrisierung eines dünnen, mehr oder weniger spitz zulaufenden Leiters durch nichts weiter als durch plötzliche Erwärmung und Abkühlung, die beide infolge der Gestalt und geringen Masse des letzteren viel stärker ausfallen als bei den Voltaschen Platten, wenn man diese an ihrem Siegellackstiele anfaßt und wieder losläßt. Wie dieser, wenn alles richtig gemacht wird, geradezu verblüffend starke Effekt, kommt höchstwahrscheinlich das Elmsfeuer zustande und dürften sich die bekannten andern elektrischen Erscheinungen an Spitzen nunmehr in analoger Weise erklären lassen. Allerdings wird die

Elektrizität der Stricknadel nach u hin schwächer; aber selber bei u sind mit Probe I 10 mm Negativität keine Seltenheit und bleibt die Spitze länger als eine Stunde negativ. Wie notwendig jedoch die relativ starke Abkühlung nach der Erwärmung ist, sieht man, wenn derselbe Versuch im 23° warmen Zimmer gemacht wird; denn da erhält man höchstens 1 3 1 0 0 0. Natürlich giebt bei feuchtem Wetter, wo alles schwerer warm wird, auch die im dünnen Griffe steckende Nadel, trotzdem daß das Zimmer kühl ist, nicht so starke Ausschläge und bleibt viel weniger lange elektrisch als in trockener Luft; aber auch dann läßt sich immer noch beobachten, daß das Elektrizitätsmaximum erst bei der zweiten Probe erscheint, wenn es gelang die erste Probe sofort nach dem Niederlegen des Griffes, und die zweite nur wenige Sekunden nach der ersten abzunehmen.

Wird nun die Nadel im kühlen Raume dadurch stärker erwärmt, daß man sie, ihren Griff in der Hand, wie Figur 33 zeigt, über die Spiritusflamme und zwar 10—15 Sekunden lang hält, so zeigt die sofort nach Entfernung der letzteren an das Pendel gebrachte Spitze sogleich Positivität, oft bis 15 mm; aber nur unter der Bedingung, daß die Nadel vorher nicht aus der Hand gelegt worden war. Wurde sie oder vielmehr ihr Griff während der Erhitzung nicht angefaßt oder nachher in das Lager gelegt, so ist die Spitze nur negativ. In diesem Falle kühlte sie sich nämlich rasch viel mehr ab, weil sie daran von der warmen Hand nicht gehindert wurde. Der Hergang ist in beiden Fällen also ganz ähnlich wie bei den Siegellacktropfen (S. 76f.); denn wieder sehen wir, daß die Positivität bei rascher Abkühlung in höherer, und die Negativität bei solcher in tieferer Temperaturlage erscheint. Der Versuch läßt sich auch noch weiter ausbilden und abändern; z. B. zeigt sich, daß die Nadel, wenn sie vorher einige Minuten einer viel niedrigeren Temperatur, z. B. nur 5° Wärme, ausgesetzt ward, nach Einwirkung der Flamme nicht positiv zu bekommen ist, sondern nur negativ wird — offenbar weil die Temperatur der Nadel infolge der Kälte des Griffes zu tief fiel. Doch dürfte das Mitgeteilte vorläufig genügen.

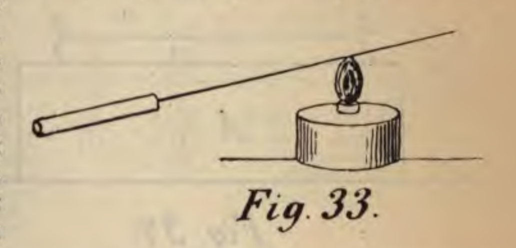


Fig. 33.

Kapitel XI.

Vielmaliger Zeichenwechsel nach Reibung.

Wiederholte Umelektrisierung des geriebenen Harzstabes durch die Spiritusflamme. Hinweis auf die Entstehung der beiden Influenzelektrizitäten.

Nun zu den merkwürdigen Versuchen, wobei der geriebene Harzstab sein Zeichen nicht blos ein- oder zweimal, sondern und zwar wieder infolge periodischer, jedesmal aber nur außerordentlich wenig steigender Erwärmung sehr viele Male wechselt!

Versuchsobjekt ist die eine, 7—8 cm lange Hälfte r s (Fig. 34) einer viereckigen, möglichst dünnen (ca. 7 mm dicken) Siegellackstange, die auf den Amboß A so gelegt ward, daß keines ihrer beiden Enden über den Rand des letzteren hinausragt. Die Reibung geschah, wie bei dem S. 71 f. beschriebenen Versuche erst mit dem Wattebäuschchen C (Figur 29 II), dann mit dem Wickel Wf (ebenda) von feiner Strickwolle, und schließlich mit einer Ecke des aus grober Wolle gestrickten Reibfleckes. Gerieben und untersucht wurde aber nur das noch im natürlichen Zustande befindliche mehr oder weniger abgerundete und spiegelblanke r in einer Länge von 4—5 mm; denn das vom Bruche scharfkantige andere erwärmt sich trotz der sogleich zu beschreibenden, die Temperaturerhöhung hemmenden Einflüsse, eben infolge seiner scharfen Kanten und rauhen Bruchfläche, doch so schnell, daß meist sofort die bleibende und immer stärker werdende Negativität erhalten wird. Das Bruchende zeigt also mehr oder weniger die vorhin erwähnte Spitzenwirkung. Und nur um die teils durch die Reibung, teils durch Bestrahlung entstehende Wärmesteigerung nach Möglichkeit zu verzögern, wurde der Lack auf einen so guten Wärmeableiter, den 3 cm dicken Amboß, in der angegebenen Weise gelegt. Indessen gelingt der Versuch auch, wenn der Lack auf einem Buche oder einer Pappschachtel oder einem Holzklotze liegt, vorausgesetzt daß die Unterlage oder der Lack selber vor dem Versuche im Wasser lag (S. 71) und etwas kälter als die Umgebung wurde.

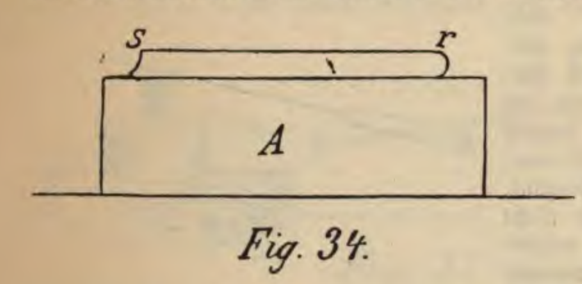


Fig. 34.

1. Der Lack lag im Wasser.

Die halbe viereckige Siegellackstange r s (Fig. 34) wurde 10 Minuten lang in Wasser von 17° gelegt, während die Temperatur des Zimmers (den 28. Juni 1896 N. 3′15″) bei 53 % relativer Feuchtigkeit $19\frac{1}{2}$° betrug. Nachdem der Lack hierauf mit einer Pincette herausgenommen worden war, ließ ich von r, das ein paar Sekunden senkrecht und reibungslos auf Lösch-

papier gestellt wurde, die großen Wassertropfen ablaufen, sodaß auf r mit bloßem Auge kein Wasser mehr sichtbar war, und legte das Stängelchen in der angegebenen Weise vorsichtig auf den Amboß. 3—4 Minuten später berührte ich r mit einem Pendel, an dem nicht viel verloren gewesen sein würde, wenn es infolge der daselbst noch vorhandenen mikroskopischen Feuchtigkeit unlösbar hängen geblieben wäre, und wieder ein paar Minuten später war r, obgleich auf dem Lacke anderwärts noch mehrere Wassertropfen standen und er, wie ein Kontrolversuch ergab, auch noch naß lag, hinreichend trocken. Nun begannen ähnlich wie oben (S. 71 f.) die Reibungen, welche zunächst mittelst Probe 2a und später mit I die imposante Reihe

C.					Wf.											
1	2	4	6	6	3	2	3	3	3	4	4	5	6	7	8	11
+	−	+	−	+	−	+	−	−	+	−	+	+	+	+	+	−
2	4	5	5	4	18	2	4	5	5	20	12	20	22	24	25	25
				8	5	10	18		2	8	6	15				(1 mit I)
						4				3						

Fortsetzung

Wf.						
7	9	10	9	12	14	20
−	+	−	−	−	−	−
2	15	5	5	8 (I)	8 (I)	10 (I)
(mit I)	(mit IIa)	(mit I)	(I)	4 (I)	3 (I)	4 (I)
		der Pendel wird gl. stark angezogen.		1 (1)	starke Anziehung.	

ergaben, wobei, wenn mehr als eine Probe gemacht wurde, dieselben senkrecht unter der ersten stehen.

Mehrfach wurde am Ende einer Einzelreihe die dahin gehörige Null beobachtet, und vervollständigen wir damit das Bild der Gesammtreihe, so erhalten wir:

0 + 0 − 0 + 0 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 − 0 + 0 −,

also, und zwar binnen einer halben Stunde (von 3'30 bis 4'0), 15 Zeichenwechsel ergaben, von denen die letzte Negativität sogar durch viel stärkere Reibung mit Wolle nicht mehr in Positivität umgewandelt werden konnte, also die normale Negativität war.

2. Statt des Lackes lag der Amboß im Wasser.

Der Amboß hatte die ganze Nacht in Wasser von $16^1/_2{}^\circ$ gelegen. Des Morgens $6'_{29}''$ (d. 25. Juni 1896) nahm ich ihn heraus, stellte ihn ein paar Sekunden auf dem Fußboden aufs Hohe, damit das Wasser einigermaßen ablaufe, legte ihn dann flach auf den Tisch, wo $17^1/_2{}^\circ$ Wärme und $62^0/_0$ relative Feuchtigkeit waren und sofort die halbe Siegellackstange r s (Fig. 34), die unelektrisch auf einem trockenen Amboße lag, mittelst Pincette ins Nasse darauf.

Wie jene unter 1. beschriebene Anordnung bewirkt die jetzige, daß der Lack zunächst durch die Berührung mit Wasser etwas kälter als die anderswo auf dem Tische liegenden Gegenstände wird; alsdann aber auch, daß er infolge der bis gegen das Ende des ganzen Versuches anhaltenden Wasserver-

dunstung sich durch die Bestrahlung seitens des Experimentierenden, vorzugsweise jedoch, daß die so vielfach geriebene Stelle r sich langsamer, also bei jeder Reibung weniger als unter gewöhnlichen Umständen erwärme Denn r soll eben zeigen wie es sich verhält, wenn seiner Erwärmung durch die Reibung fortwährend sozusagen ein Dämpfer aufgesetzt wird. Fortwährend, weil, auch wenn das Wasser auf der freien Oberfläche des Ambosses soeben verdunstet ist, immer noch auf dem ganzen, mehrere Centimeter langen Streifen zwischen Lack und Eisen nicht alles mikroskopische Wasser verdunstet sein kann, später aber, sowie dies der Fall ist, die aufliegende Fläche der Siegellackstange, weil den Wärmewellen schwerer zugänglich, immer noch kälter als das Übrige bleibt und noch längere Zeit die Wiedererwärmung ihrer freien Oberfläche verzögert, mithin auch der Temperaturerhöhung des r bei seiner Reibung Eintrag thut.

$6'_{30}''$ begannen die Reibungsversuche, wobei auch jede vorkommende Nullelektrizität aufgeschrieben ward, und sie lieferten bis $7'_{10}''$, von wo an der immer stärker geriebene Lack negativ blieb, erst mittelst IIa, dann zwischendurch und schließlich ganz mittelst Probe I („z." = Lack zieht, und „z. st." = zieht stark das Pendel an) die Reihe:

C	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1	1	2	2	3	4	4	4	3	4	5	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5	6	5	5
0	0	0	+	+	+	—	0	+	—	+	—	—	0	+	—	+	+	—	+	—	+	+	+
			1	5	2	2		4	1	10	2	3		13	16	5	2	7	10	5	12	15	1

(I)

Fortsetzung	C.	.	.	.	.	Wf.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	6	6	6	7	7	10	5	7	10	10	7	11	12	5	7	12	16	20	25
	—	+	—	+	+	+	—	0	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—
	6	7	6	2	3	2	1½		5	2	7	10	1	3	2	3	4	6	10
				I	I	I	I					5					z.		
				z.								1					st		

mit Probe I,

oder kurz:

$$0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 -,$$

sodaß die endgiltige, die normale Negativität erst beim 21. Zeichenwechsel erscheint.

Als aber 10′5″, d. i. ziemlich drei Stunden nach Beendigung obiger Reihe, derselbe Lack, der unangerührt auf dem erst nach Erscheinen der normalen Negativität trocken gewordenen Ambosse liegen geblieben war, wieder gerieben wurde, so erhielt ich bei $18^1/_2{}^\circ$ Wärme und 64 % relativer Feuchtigkeit nicht einen einzigen Wechsel, sondern sogleich nach dem ersten schwachen Striche mit dem Wattebäuschchen die definitive Negativität, die schon nach dem fünften, ebensolchen Striche mittelst Probe I nachweisbar war. Das ist also die Gegenprobe: Lack und Amboß waren wieder trocken und so warm wie alles andere auf dem Tische geworden, sodaß gleich die bei der ersten Reibung entstehende Wärme bis zu jener Temperatur stieg, in deren großen Breite die an Harzen durch die gewöhn-

lichen Mittel erregten Ätherschwingungen für uns als die gemeine negative Reibungselektrizität in die Erscheinung treten.

10′ 10″ that ich denselben Amboß wieder ins Wasser, das jetzt, da die Zimmerwärme bis auf 18½° gestiegen war, 17½° hatte, nahm ihn nach 1½ Stunden, also 11′ 40″ wieder heraus, ließ ihn etwas ablaufen und legte eine andere unelektrische halbe Siegellackstange derselben Sorte darauf. Die folgende Zusammenstellung zeigt das bis 12′ 38″ erreichte Resultat, das zu den besten gehört, die ich auf die angegebene Weise überhaupt erhielt.

C.									Wf.							
1	1	1	2	3	3	5	6	9	12	15	20	25	30	20	30	35
+ 1	+ 1½	+ 2	+ 2½	− 10	− 12	+ 2	− 12	− 20	+ 10	− 8	+ 3	− 3	+ 2	− 14	+ 4	− 9
mittelst IIa				(I)	(I)	(I)	(I)	*)	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
				− 5_I		− $12^!_I$	z. z. st.		+ 2_I	− 2	− 12	+ 4	+ ½	− 8	− 3	− 7
				− 3_I		− 2_I			− $10^!_I$		− 3	− 5	− 3	− 5	− 3	− 4
						0_{IIa}			− 2_I				− 2	− 4	− 2	− 2
														− 3		
														− 2		

Fortsetzung.	Wf.					Wg.					
	40	45	50	50	60	30	60				
	− 5	− 10	− 15	− 7	− 5	− 12**)	− 18***)	− 15	− 13	− 10	− 3 0
	− 4	+! 20	− 14	− 5	− 8	− 10	+ 25	+ 12	+ 4		
	− 3	+ 6	+ 5	+ 8	+ 7	− 9	− 2	− 15	− 7	− 5	
		− 7	− 3	− 3	− 5	+ 15	+ 8	+ 4			
		− 5	− 7	− 5	− 4	− 2	− 10	− 8	− 4	− 2	
		− 3	− 4	− 4	− 3	− 10	+ 6				
		− 2	− 3	− 3	− 2	− 8	− 8	− 6	− 4	− 3	
			− 2	− 2		− 7	+ 5	+ 3			
						− 5	− 7	− 5	− 3	− 1	
						− 3	+ 4	0			
							− 6	− 4	− 2	− 1	
							+ 3				
							− 5	− 4	− 3	− 1	
							+ 2				
							− 3	− 2	− 2	− 1	

*) Von hier an wurde nur mit Probe I, aber äußerst schnell untersucht.

**) ⅄ wird heftig angezogen, aber noch nicht wieder abgestoßen.

***) ⅄ wird sehr heftig angezogen und nach ½—1 Sekunde wieder gestoßen.

Probe I stark negativ gemachten, halbkugeligen Ende a eines horizontal und entsprechend hochliegenden gewöhnlichen, 13 mm dicken Ebonitstabes a b ruckweise genähert; und damit ich augenblicklich sehen konnte, wie weit die Flamme ursprünglich oder dadurch, daß ich die Lampe verschob, von a entfernt war, stellte ich die letztere auf ein Meßlineal. Um die damit verbundene Temperatursteigerung des genäherten Stabes einigermaßen beurteilen

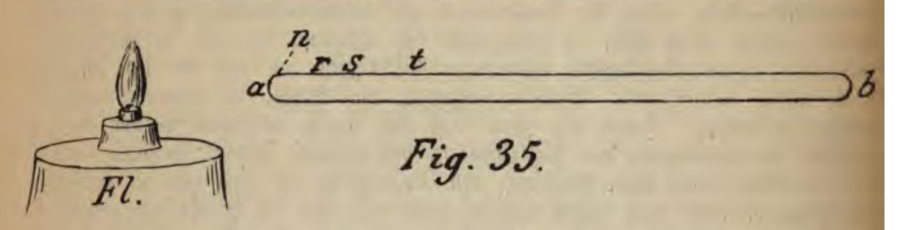


Fig. 35.

zu können, wurde aber kurz zuvor durch eine ganz ebensolche Anordnung der Spiritusflamme und des Thermometers (Fig. 36) festgestellt, das das letztere

bei	5	cm	Abstand	in	5	Min.	auf	$15{,}^{\circ}_{1}$	und	in	10	Min.	auf	$15{,}^{\circ}_{2}$,
"	4	"	"	"	5	"	"	$15{,}^{\circ}_{5}$	"	"	10	"	"	$16{,}^{\circ}_{0}$,
"	3	"	"	"	5	"	"	$16{,}^{\circ}_{8}$	"	"	10	"	"	$16{,}^{\circ}_{7}$,
"	2	"	"	"	1	"	"	$16{,}^{\circ}_{9}$	"	"	3	"	"	$17{,}^{\circ}_{1}$,
"	1	"	"	"	1	"	"	$18{,}^{\circ}_{0}$	"	"	3	"	"	$18{,}^{\circ}_{4}$,
"	1	"	"	"	7	"	"	$19{,}^{\circ}_{2}$	"	"	10	"	"	$20{,}^{\circ}_{0}$,
"	1/2	"	"	"	1	"	"	$21{,}^{\circ}_{0}$	"	"	2	"	"	$21{,}^{\circ}_{5}$,
"	1/2	"	"	"	4	"	"	$22{,}^{\circ}_{5}$	"	"	5	"	"	$23{,}^{\circ}_{0}$,

binnen 6 Minuten aber kaum noch steigt.

Mithin würde die Temperatursteigerung an diesem Thermometer, wenn es von dem unteren Drittel der Flamme mehr als 5 cm entfernt ist, kaum noch wahrzunehmen gewesen sein; ferner betrug jene nach der beim Hauptversuche wesentlich in Betracht kommenden Annäherung von 4 cm auf 2 cm nur etwa 1 Grad, und erst nach den weiteren Annäherungen erheblich mehr.


Fig. 36.

Nach diesem Vorversuche wurde das Ende a des unelektrischen, weil einige Tage nicht gebrauchten Ebonitstabes durch 20 bis 25 flache Bohrbewegungen im wollenen Reiber stark negativ gemacht, um eben zu sehen, was aus der normalen Negativität durch zunehmende Erwärmung wird, und ward der Stab sogleich horizontal auf ein ähnliches Lager, wie in Figur 3 dargestellt ist, gelegt. Alsdann bestimmte ich zuvörderst, um von der Stärke der erregten Reibungsnegativität eine bessere Vorstellung als durch d

Pendelausschlag zu bekommen, die Wirkungsweite (S. 13) von a in Figur 35; indessen auch noch aus einem andern Grunde. Die Wärme der Flamme vermag nämlich die Negativität von a aus umso weiterer Entfernung zum ersten Male in Positivität umzuwandeln, je größer seine Wirkungsweite ist. Beträgt sie z. B. wie in dem vorliegenden Falle 20 cm, d. h. macht der kondensierende Draht (Probe IIb) das Pendel noch auf 20 cm Entfernung 1 mm positiv, indem es so viel vor dem Glasstabe fortgeht, so wird a selber, wenn man ihm die mittelgroße Flamme bis auf 10 cm nähert, dadurch so stark positiv, daß zu diesem Nachweise nur noch Probe I nötig ist; bei 7 cm Wirkungsweite muß aber die Flamme bis auf $3^1/_2$ cm an a herangerückt werden, um seine Negativität in Positivität umzuwandeln. Das schwächer negative a ist nämlich, weil weniger gerieben, auch viel weniger warm geworden als das stärker negative, folglich bedarf das erstere, um auf diejenige Temperaturhöhe zu kommen, wobei seine Elektrizität ihr Zeichen wechselt, auch einer stärkeren Erwärmung als das letztere.

Zahlreiche Versuche hatten nun gelehrt 1. daß, wie schon aus den beiden Beispielen zu erkennen ist, der erste Zeichenwechsel, also die erste Positivität am kräftigsten auftritt, wenn die Flamme dem a ungefähr bis zu seiner halben Wirkungsweite genähert wird; 2. daß der Wechsel daselbst nur eintritt, wenn man die Flamme mit einem Male und ohne Hin- und Herschieben der Lampe so nahe an a heranbringt, und 3. daß das stark negative a erst bei einer viel geringeren Entfernung und zwar nur sehr schwach positiv wird, wenn man ihm die Flamme langsam, anfangs z. B. nur auf 20 cm, dann bis auf 15, 13 und 11 cm näherte. Aus diesen Gründen wird die Bestimmung der Wirkungsweite des Stabendes zur Notwendigkeit, und der Erfolg bestätigt wieder den oft ausgesprochenen Satz, daß die elektrische Wirkung der Erwärmung um so größer ist, je schneller die letztere erfolgt. Andererseits hatte die Erfahrung gezeigt, daß die ersten Sekunden nach der plötzlichen Aufstellung der Lampe auf ihren richtigen Punkt sehr kostbar sind, weil die dadurch erzeugte Elektrizität — es handelt sich bezüglich der Entfernung der Flamme schon um Millimeter, und in ihrem Brande nur um kleine Schwankungen — häufig sehr rasch verschwindet und der nächst höheren Elektrisierungsstufe Platz macht. Daher muß die erste Untersuchung so schnell wie möglich nach der Aufstellung geschehen, und für alle Fälle auch die zweite möglichst rasch der ersten folgen; das ist aber umso leichter, als immer die Probe I genügt.

In dem gegenwärtigen Falle ward das Pendel, nachdem Fl auf 10 cm stand, von a sofort angezogen und augenblicklich abgestoßen. Ohne es mit dem Stabe zu prüfen, nahm ich sogleich ein bereitstehendes zweites, und dies wurde von a zwar nicht mehr unmittelbar nach der Berührung abgestoßen; aber es erwies sich an 12 mm negativ, während das erste 8 mm Positivität zeigte! Und wäre bei der ersten Untersuchung n statt a berührt worden, so hätte n gleichfalls starke Negativität dargeboten. Das vorgewölbte a, das der Flamme am nächsten ist, wurde offenbar darum sofort positiv, weil es am stärksten erwärmt ward. Allein auch n und das ganze Stabende war auf mehrere Centimeter hin beeinflußt worden; denn nachdem es un-

mittelbar vor Aufstellung der Lampe bei r, das gar nicht gerieben wurde, noch unelektrisch war, zeigte es sich nach derselben sofort und zwar mindestens bis t mit Probe I negativ. Diese Negativität von r bis t ist ohne Zweifel ebenfalls die Wirkung der Bestrahlung durch die Flamme, aber nur die Wirkung einer schwächeren, weil aus größerer Entfernung geschehenden Erwärmung: n wurde dadurch noch stärker und r t in derselben Weise negativ, wie es jeder unelektrische Körper bei mäßig starker Bestrahlung werden kann. Da aber a in wenigen Sekunden gleichfalls negativ ward und unterdessen nichts anderes vor sich gegangen sein konnte, als daß es rasch immer wärmer wurde, so verwandelte sich seine Positivität, die das Produkt der ersten, noch verhältnismäßig schwachen Erwärmung mittelst der Flamme war, durch die rasche Temperaturzunahme gleichfalls — ganz ebenso wie wir Seite 40 sahen, daß die Zink- oder Kupferplatte, die durch Erwärmung unter der Petroleumlampe auf einem gewissen Punkte ihrer Annäherung an dieselbe positiv geworden war, wieder negativ wird, wenn man sie in die Lage setzt, sich rasch noch stärker zu erwärmen. Die so flüchtige, aber immerhin beträchtlich starke Positivität von a war also die normale Positivität, und die darauf folgende bleibende Negativität ist die erste übernormale Negativität. Bemerkt sei noch, daß der positive Bezirk des Stabendes bisweilen wesentlich größer ausfällt, und daß dann die übernormale Negativität später eintritt und viel schwächer, nämlich nur mit II a nachweisbar ist.

In unserm Falle setzte ich nun die Spiritusflamme, nachdem a und das ganze Stabende von n bis t nur allmählich schwächer negativ geworden war, plötzlich auf 5 cm Abstand: Sofort erwies sich a als vollkommen unelektrisch, während die Negativität des Stabrückens jetzt bis zu seiner Mitte reichte. Als ich aber Fl eine Minute später mit einem Male auf nur 3 cm Entfernung stellte war a mit Probe I augenblicklich mehr als 1 mm positiv, ebenso n und hörte diese Positivität erst in der Mitte zwischen n und r auf; dann folgte bei r eine Nullzone und erst bei s zeigte Probe I nach t hin zunehmende Negativität (Fig. 37). Die Positivität von a hielt aber diesmal aus, ja sogar wenn Fl von a nur 1 cm entfernt war, erwies sich n noch $^1/_2$ mm positiv,

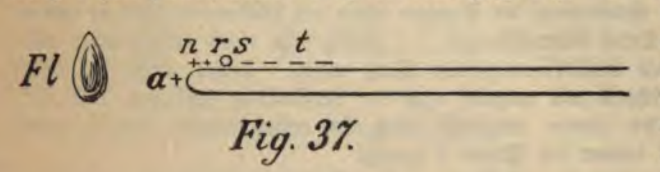


Fig. 37.

und erst bei $^1/_2$ cm Abstand unelektrisch. Die letzte, wenn auch relativ schwache Positivität war also die aus der übernormalen Negativität hervorgegangene erste übernormale Positivität, sodaß wir das anfangs normal negative Stabende durch sprungweise Annäherung an denselben relativ kalten Teil der Flamme zu dreimaligem Zeichenwechsel, nämlich zu + o — o + o, genötigt haben.

Die Aufgabe, die wir uns oben (S. 85) stellten, ist also gelöst. Allein, wie so oft bei naturwissenschaftlichen Arbeiten, ergab sich dabei noch etwas anderes, das, als ich früher eifrig danach suchte, sich auf keine Weise

finden lassen wollte, nämlich Aufschluß über den Grund, warum ein elektrisch bestrahlter isolierter Leiter oder auch ein zylinderförmiger kurzer Nichtleiter an seinen beiden Enden entgegengesetzt elektrisch wird und zwar derart, daß beide Elektrizitäten durch eine neutrale Zone von einander getrennt werden. Denn da die direkte Bestrahlung des Ebonitstabes mit Wärme bis auf einen gewissen Punkt dasselbe hervorbrachte, was erfahrungsmäßig die Bestrahlung eines kurzen Ebonitstabes mit Elektrizität bewirkt, und da es ferner im höchsten Grade wahrscheinlich ist, daß der influenzierende Gegenstand den influenzierten erwärmt, weil die Elektrizität sonst ja überall Wärme erzeugt: So stellen die beiden Influenzelektrizitäten, wie wir S. 95 noch genauer sehen werden, einfach die **räumliche** Aufeinanderfolge desjenigen Zeichenwechsels dar, den wir immer in zeitlicher Aufeinanderfolge beobachten, wenn die Temperatur des betreffenden Gegenstandes schnell zu- bez. abnimmt.

Schließlich zeigt unser Stab auch Abkühlungselektrizität, und zwar sogar in einem übernormal, wenn nur gleichmäßig warmen Zimmer. Denn wenn man die Flamme, nachdem sie a bei 3 cm Entfernung wieder positiv gemacht hatte, plötzlich fortnimmt, so ist a sogleich und zwar schon mit I eine Spur, dann etwa 1 mm und nach 1—3 Minuten 3, 5 und mehr Millimeter negativ. Diese Negativität reicht nur bis zum Ende des ersten Centimeters des Stabes (Fig. 38), dann folgt wieder Null, hierauf aber Positivität, die am Ende des zweiten Centimeters am stärksten ist, nämlich ca. $1^1/_2$ mm beträgt, dann wieder Null und endlich Negativität, die etwa am Ende des fünften Centimeters in maximo 2 mm Ausschlag ergiebt und erst zu Beginne des zweiten Decimeters ganz aufhört — alles mit Probe I und einem sehr empfindlichen, 4 cm langen Pendel. Am schönsten zeigen sich diese elektrischen Gürtel, welche der Temperaturabnahme in der Richtung nach n′ n″ entsprechen, wenn man einen dünneren, nur bis 8 mm dicken, also leichter erwärmbaren Ebonitstab nimmt und die Flamme nicht erst aus der verhältnismäßig großen Entfernung von 10 cm, sondern sogleich bei 3 cm Abstand 1—2 Minuten lang einwirken ließ, nachdem festgestellt wurde, daß das Stabende durch die Reibung auf eine Länge von höchstens 7—8 mm negativ geworden war. Dann ist nach Entfernung der Flamme sn übernormal negativ, p normal positiv und n′ . . . n″ normal negativ.

sn p n′ . . . n″

Fig. 38.

Ein ganz ähnlicher Zeichenwechsel findet aber statt, wenn man die Elektrisierung eines isolierten Leiters plötzlich aufhebt, und das läßt sich folgendermaßen zeigen.

Liegt auf einer bleistiftdicken Siegellackstange S (Fig. 39), die auf einem umgekehrten Porzellannäpfchen P P senkrecht steht, eine etwa 10 cm lange und 2 mm dicke Messingschiene A B, läßt man alsdann das sehr stark geriebene Ende eines Ebonitstabes 3—4 Sekunden lang ganz nahe über B halten

und berührt dieses sogleich hierauf mit einem jeden von drei empfindlichen Goldschaumpendeln, die schon bereit dazu auf dem Tische stehen, so wird das erste negativ, das zweite aber positiv und das dritte, sowie ein viertes oder fünftes, das man noch rasch zur Hand hat, wieder negativ abgestoßen. Wir haben hier also nicht bloß einen einmaligen, sondern sogar **einen zweimaligen Zeichenwechsel als Nachwirkung von bis zur Gleichnamigkeit getriebener Influenz** hervorgebracht, sodaß das vollständige Bild des ganzen Vorganges durch

$$0 - 0 + 0 - - - \ldots$$

ausgedrückt wird.

Um es sicher zu erhalten, muß man aber die drei unmittelbar aufeinander folgenden Untersuchungen so geschwind wie nur irgend möglich machen: Von der Fortnahme des Stabes bis zur Berührung des zunächst sehr stark negativen B mit dem ersten Pendel dürfen höchstens 4 Sekunden, von da an bis zur Vollendung der zweiten Probe kaum 3 Sekunden, und von dieser an bis zur dritten wiederum bloß 3 Sekunden vergehen. Sich davon überzeugen, d. h. die Prüfung der geladenen Pendel vornehmen, kann man daher nicht auf der Stelle; denn ehe z. B. das erste mittelst des Harzstabes, wenn auch nur ganz flüchtig, als negativ erkannt würde, wäre die auf die erste Negativität folgende Positivität von B schon vorüber, und wenn man es nun wieder mit einem zweiten berührte, so wäre es eben negativ wie vorher und niemand würde ahnen, daß B inzwischen stark positiv gewesen ist. Also erst, nachdem alle drei oder vier Pendel in 10, bez. 12 Sekunden geladen worden sind, hat man Zeit, sie mit den Stäben zu behandeln, und dann ergiebt auch die Prüfung stets große Zahlen, im Ganzen z. B.

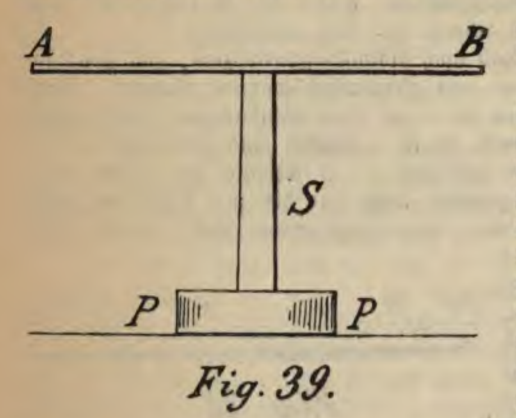


Fig. 39.

$$\underset{-}{20} \qquad \underset{+}{15} \qquad \underset{-}{25}$$

Aehnlich wie die Elektrisierung einer der Voltaschen Platten durch fortgesetzte Wärmebestrahlung mit Zeichenwechsel vor sich ging (S. 40) findet ein solcher auch im Anfange der Selbstentladung eines in distans stark gleichnamig geladenen Leiters statt, und hätten wir hierbei, wenn auch nur andeutungsweise, jene Oszillationen vor uns, welche die Entladung der Leydener Flasche, allerdings in ungleich weniger Zeit und so sehr viele Male hinter einander aufweist. Daß die letzteren die Folge und ihr Bild der Ausdruck des bei dem riesigen Temperatursturze ebenso oft stattfindenden Zeichenwechsels sind, dürfte nach unserem einfachen Versuche mit der so

schnell wie möglich dreimal untersuchten Schiene durchaus wahrscheinlich sein; doch wollen wir hier nur bei diesem bleiben: Die Schiene ward durch die sehr starke elektrische Bestrahlung relativ sehr warm und kühlte sich im Verlaufe die ersten zehn Sekunden so rasch ab, daß die elektrischen Wellen inzwischen zweimal ihre Gangart wechselten; sie thaten es nachher aber nicht noch einmal, weil jetzt die Temperatur zu langsam sank, und dies wiederum geschah darum, weil die Erhöhung der Anfangstemperatur im Verhältnis zu jener des Knopfes einer geladenen Leydener Flasche immerhin nur unbedeutend war.

Augenscheinlich hat der durch Reibung warm und sehr stark elektrisch gemachte Ebonitstab der Messingschiene gegenüber dasselbe geleistet, was wir früher bei einfacher Wärmezufuhr, z. B. durch die Spiritusflamme, sahen: Sowohl die von der letzteren als auch die von dem so stark geriebenen Harzstabe ausgehenden Wellenstrahlen haben den getroffenen Gegenstand **erwärmt.**

Kapitel XII.

Nutzen des Lacküberzuges der Voltaschen Platten.

Hier wird es am Platze sein das Nötige über einen Punkt zu sagen, der bei Volta's Fundamentalversuche eine Rolle spielt und bei seinem Kondensator von großer praktischer Bedeutung ist, nämlich über die Wirkungsweise des Lacküberzuges seiner Platten. Angenommen wird ja, daß er die Influenzierung der Kondensatorplatte seitens der Kollektorplatte ermögliche; allein die nicht abgeleitete Kondensatorplatte ist mit der Kollektorplatte nachweislich immer gleichnamig elektrisch und die abgeleitete ganz unelektrisch. Etwas anderes ist es freilich, wenn zwischen beiden sich Luft statt Lack befindet. Welchen Nutzen der Lacküberzug hat, ist aber leicht verständlich, sowie man sich vergegenwärtigt, daß ein mit einem schlechten Leiter wenigstens teilweise umhüllter besserer oder auch wirklich guter Leiter durch die ihn treffenden Wärmestrahlen wärmer wird als wenn er nackt ist. Jedermann kennt das; indessen dürfte die Vorführung dieser nicht blos hier, sondern auch in der namentlich auf die Pflanzenphysiologie angewandten Elektrik so außerordentlich wichtigen Erscheinung durch einen Versuch, der immer überrascht, nicht überflüssig sein.

Ich tauche das Gefäß eines Thermometers in eine Schellacklösung und lasse, was nicht kleben bleiben will, abtropfen, sodaß der trocken gewordene Ueberzug kaum dicker ist als jener, den die Voltaschen Platten bez. jene des

Kondensators haben. Wenn nun dieses neben ein anderes, mit ihm gleichgehendes Thermometer, dessen Gefäß aber nackt ist, aus dem kühlen Zimmer hinaus in die Sonne (vors Fenster) gelegt wird, so steigt das nackte zwar sofort rascher als das lackierte, jedoch ein paar Sekunden lang; hierauf wird jenes von diesem überholt und nach 10—15 Minuten zeigt das lakierte mindestens einen Grad, im Sommer sogar an zwei Grad höher als das nackte. Natürlich geht das erstere auch langsamer zurück als das letztere und bleibt infolgedessen, wenn die scharfe Bestrahlung zeitweilig oder ganz aufhört, noch mehr oder weniger lange wärmer. Der Lacküberzug der Voltaschen Platten, der einfachen oder der zum Kondensator gehörigen, wirkt also wie ein Mantel, der die Ausstrahlung der empfangenen Wärme hemmt, sodaß die lackierten Platten sich beim Gebrauche wärmer halten als die nackten. Da wir nun sahen, daß die Spannung der Elektrizität eines Körpers zunimmt, wenn er bis zu einem gewissen Punkte, im ganzen jedoch nur um wenig wärmer wird, so leuchtet für den Fundamentalversuch sofort ein, daß sein Effekt beträchtlich größer ausfallen muß, wenn die Platten lackiert sind, weil ja die durch das Zusammenlegen beider und durch den Experimentierenden an und für sich verursachte Erwärmung das erste Moment für ihre Elektrizitätserregung überhaupt bildet. Beim Kondensator aber, dem sehr schwache Elektrizität durch Reibung zugeführt wird, sind die beiden soeben genannten Erwärmungsursachen zwar auch thätig; allein es kommt hier, abgesehen davon, daß der zugeleitete Strom die Platte selber erwärmt, noch hinzu, daß die Kollektorplatte durch die Kondensatorplatte darum erwärmt wird, weil wir diese mit einem guten Wärmeleiter, der Wärme auf sie unmittelbar überträgt, berühren. Diese Erwärmung geschieht natürlich umso besser, je dünner die Harzschicht ist und je vollkommener beide Platten aufeinander passen.

Auch der bei Verdampfung von Terpentin verbleibende Rückstand, eine mehr oder weniger dünne, kolophoniumartige Haut, die Boyle elektrisch fand, wirkt auf seine Unterlage, z. B. eine umgekehrte Untertasse, wie ein Lacküberzug und läßt sie an den von ihm bedeckten Stellen bei der Abkühlung und Wiedererwärmung oder Wiedererwärmung und Abkühlung mit IIa stärker positiv bez. negativ erscheinen als die nackten. Und ganz ebenso verhält sich die dünne, lange Zeit nicht rissig werdende Schicht, der in der Schale, worin man Schellack schmolz, fest kleben bleibt, wenn er rasch ausgegossen wurde.

Um aber die Elektrizitätsverstärkung, welche durch den, kurz gesagt, erwärmenden Einfluß des Lacküberzuges eines isolierten guten (oder auch Halb-)Leiters hervorgebracht wird, so gut wie möglich aufzuzeigen, gebe ich die nachstehenden Versuche wieder.

Im 18° warmen Zimmer steht (am 25. Februar 1895) auf dem Tische ca. 35 cm von mir entfernt eine unlackierte $1\frac{1}{2}$ mm dicke Voltasche Kupferplatte, die bei der einmaligen IIa Probe sich unelektrisch zeigt. Wenn ich nun ihren Siegellackfuß mit der mäßig warmen Hand, ohne ihn damit zu berühren, derart umspanne, daß die obere Oeffnung der letzteren

von der Unterfläche der Platte 3—3$^1/_2$ cm entfernt ist, und sie damit auf diese Art

erst 1 Sekunde,
dann 2 Sekunden,
„ 4 „ ,
„ 10 „ und
„ 15 „ lang erwärme, so erweist sie sich mit IIa

erst 0, dann 5, dann 0, dann 8, dann 0; und wird die Zinkplatte ebenso
+

erst 1 Sekunde,
dann 1$^1/_2$ Sekunden,
„ 3 „ ,
„ 7 „ und dann 11 Sekunden erwärmt, so ist sie

mit IIa erst 0, dann 5, dann 0, dann 8 und dann 0.
+ −

Da die Platten lange nicht gebraucht worden waren, sondern abseits nahe der kühlen Wand gestanden hatten und ich selber nur wenig warm war, so ist die zuerst erhaltene Elektrizität die erste subnormale Positivität und die folgende Negativität die normale.

Nehme ich nun, nachdem ich mehrere Minuten, um meine durch die vorhergehenden Untersuchungen gesteigerte Wärme los zu werden, an einem vom Arbeitstische gegen 2 Meter entfernten Platze gesessen hatte, statt der soeben gebrauchten zwei ihnen kongruente, aber auf ihrer oberen Fläche lackierte Platten und verfahre ganz ähnlich, so ergiebt das Kupfer mit IIa

nach 1''' 40, n. 2''' 25, n. 5''' 8, n. 8''' 3, n. 10''' 35 u. n. 15''' 10;
− − − + + +

das Zink aber

nach $^2/_5$''' 35, n. 1''' 10, n. 2''' 1, n. 5''' 0 und schon nach 8''' 30!
− − − +

Diese und ähnliche Reihen, die förmlich verblüffen, wenn man sie zum ersten male bekommt, beweisen aufs Schönste, daß die lackierten Platten sich viel mehr erwärmen als die nackten. Denn sie sind 1. sofort nach der ersten Erwärmung elektrisch; 2. schon ihre Anfangselektrizität ist sehr, und auch die folgende, die entgegengesetzte, wird auffallend stark; 3. sie sind sogleich normal negativ, was unlackierte nur werden, wenn sie vor kurzem viel gebraucht, also schon bis zu einem gewissen Grade erwärmt worden sind, oder wenn man selber sehr warm ist. Der Lack als solcher wird aber durch die Wärmestrahlen allein durchaus nicht leicht elektrisch, sonst würde man Schellackfäden zur Herstellung von Pendelelektroskopen ja ganz und gar nicht brauchen können.

Daß bei diesen lackierten Platten auch die Differenzialprobe für Kupfer und Zink so großartig ausfiel, spricht überzeugender als alles andere für die Richtigkeit unserer Auffassung. Denn, wenn ich das lackierte Zink wie das lackierte Kupfer sogleich eine ganze Sekunde lang bestrahlt hätte, so wäre mir das Beste, die riesige Negativität von 35 mm völlig entgangen; und um das Zink stark positiv zu machen, bedurfte es nur $^2/_5$ plus 1 plus 2 plus

5 plus 8, also kaum $16^1/_2$ Sekunden, beim Kupfer aber 1 plus 2 plus 5 plus 8 plus ungefähr 9 = 25 Sekunden Erwärmung, sodaß das Zink schon noch etwa $^2/_3$ derjenigen Erwärmung 30 mm positiv wurde, die das Kupfer dazu brauchte.

Schließlich sei noch erwähnt, daß auch die lackierte Hälfte L der oberen Fläche eines einfachen, mit Papier überzogenen Brettchens a b c d (Fig. 40), das tagelang unangerührt auf einem Seitentische lag, im nur etwa 10° warmen Zimmer mittelst Probe IIa sofort 20 mm, die nicht lackierte Hälfte aber bloß 10 mm Negativität ergab; doch darf man nicht aus einem warmen Raume gekommen sein, muß kalte Hände haben und bei den Untersuchungen den Atem anhalten, damit die Erwärmung und mit ihr die Elektrizität nicht zu stark werde, also der Unterschied in den Ausschlägen leicht abschätzbar bleibe. Das Brettchen zu isolieren ist aber ganz unnötig.

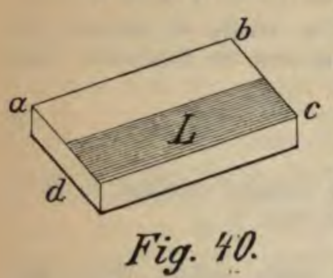


Fig. 40.

Kapitel XIII.

Elektrizität nach Berührung mit einem warmen oder kalten Gegenstande.

Erklärung der beiden Influenzelektrizitäten. Galvani's Grundversuche.

Es wird von vornherein aufgefallen sein, daß sorgfältig vermieden wurde, die Leiter und so viel als möglich auch die Nichtleiter, auf welchen die Elektrizität erregt werden sollte, vorher mit der bloßen Hand anzufassen oder auch nur mit den Fingern zu berühren. Der Grund dafür, der gelegentlich auch schon angegeben wurde, ist der, daß durch solche Berührungen, wenn sie auch nur Sekunden dauern, selber Elektrizität entsteht. Denn entweder sind die Finger, wie gewöhnlich, wärmer als der berührte Gegenstand: Dann erfährt derselbe zunächst eine plötzliche Erwärmung, und nach dem Loslassen eine mehr oder weniger rasche Abkühlung; oder die Finger sind kälter: Dann wird er zuerst abgekühlt und nachher wieder erwärmt. In beiden Fällen handelt es sich also, wie z. B. bei der Reibung, um die unmittelbare Aufeinanderfolge von zwei raschen, einander entgegengesetzten Temperaturbewegungen, von denen jede, wenn sie groß genug ist, allein schon Elektrizität zu erregen vermag. Während der Berührung mit der Hand oder einem der gewöhnlichen Dinge in unserer Umgebung kann

freilich nur ein wenig Elektrizität zum Vorschein kommen, weil sie dabei größtenteils abgeleitet wird; daher ist die an dem Gegenstande, der soeben berührt worden war, beobachtete Elektrizität in der Regel Abkühlungselektrizität.

Im Wesentlichen ebenso verhält sich die Sache, wenn wir einen isolierten guten Leiter mit einem anderen, gleichviel ob heterogenen oder aus demselben Stoffe bestehenden Leiter, den wir in der Hand halten, berühren, falls der letztere wie zum Zwecke der Ableitung so ganz gewöhnlich, ein Draht oder doch verhältnismäßig dünn ist. Denn dieser empfängt, teils durch Leitung, teils durch Strahlung seitens dessen, der die Berührung ausführt, rasch soviel Wärme, daß der Temperaturabfall nach Entfernung des Leiters zur Elektrizitätserregung hinreicht. Und das umso mehr, als das Ende eines warm gewordenen Drahtes, wie auch aus dem Stricknadelversuche (S. 74 f.) und aus dem hervorgeht, was auf Seite 50 auseinandergesetzt ward, ganz besonders viel Wärme ausstrahlt. Selbstredend darf der berührte Leiter nicht an sich schon so warm sein, daß seine Temperatur durch das Ende der von der Hand erwärmten Nadel in ein paar Sekunden kaum etwas gesteigert werden kann, d. h. man muß wiederum im kühlen Raume arbeiten. Dann aber wird der isolierte Leiter, falls er nicht ungewöhnlich groß ist, bisweilen schon nach der ersten Berührung für Probe IIa elektrisch und nach der zweiten, dritten erheblich stärker.

Allein noch viel leichter als die erste Elektrizitäts**erregung** eines isolierten Leiters, z. B. einer Voltaschen Platte, gelingt **durch diese Berührung**, seine **Umelektrisierung, und zwar nicht bloß einmal, sondern viele Male hinter einander** im kalten wie im warmen Zimmer. Dieser scheinbar durch Ableitung bewirkte Zeichenwechsel rührt gleichfalls von rascher Wärmesteigerung her, und dies umso mehr, als das bereits dem elektrischen Leiter genäherte Drahtende auch durch die **elektrischen** Strahlen erwärmt ward (S. 90). Hieraus erklärt sich die schon von den alten Elektrikern gemachte Beobachtung, daß ein ableitend berührter geladener Leiter ebendadurch wiederholt sein Zeichen wechselt, und daß die Ableitung unter Umständen erst mit einem viel massigeren, also schwer erwärmbaren Leiter gelingt.

1. Die Berührung mit den bloßen Fingern.

Da diese nur mit nachgiebigen Teilen der Hand geschieht, so läßt sie sich so sanft und ruhig ausführen, daß dabei von Druck oder Reibung noch viel weniger die Rede sein kann wie wenn man zwei Metalle an- oder aufeinander bringt.

Dabei ist das Verhalten unseres schlechtesten Leiters, **des Harzes**, von besonderem Interesse; zwar nicht darum, weil es mit Probe IIa die kleine Reihe o + o – o +: oder höchstens o + o – o + o – ergiebt, sondern wieder wegen der Schlüsse, die sich aus diesem Vorgange namentlich auf die **Entstehungsweise der Influenzelektrizität** zweiter Art ziehen lassen; denn sie bestätigen, was in dieser Beziehung bereits Seite 90 ausgesprochen **wurde**, vollkommen. Was den ersten Punkt anlangt, so ist, um die

erste Positivität der obigen Reihen zu erhalten, nötig, daß der betreffende Gegenstand, z. B ein dünner Ebonitstab oder eine dünne Siegellackstange mehrere Tage nicht nur nicht gebraucht und unelektrisch ward, sondern auch während dieser Zeit ruhig so lag, daß er weder von der Sonne noch von einer anderen verhältnismäßig starken Wärmequelle, also nicht vom Ofen, der Lampe oder dem Experimentator selber zwischendurch öfters einmal bestrahlt wurde. Die zweite Negativität erhält man aber nur unter der Bedingung, daß der Lack sehr dünn, nicht rund und nicht im gewöhnlichen Sinne viereckig, sondern flach, also besonders leicht erwärmbar ist. Da nun ein Thermometer, dessen Gefäß mit drei Fingern berührt wird, rasch um mindestens ebenso viel Grade steigt wie wenn man es durch starke Reibung positiv machte, so darf die zweite Positivität unserer Reihe als die normale angesehen werden. Folglich ist die ihr vorausgehende Negativität gleichfalls die normale. Die Positivität aber, woraus die erste Negativität sich entwickelte, muß die erste subnormale Positivität und die Negativität, welche unter besonders günstigen Umständen aus der zweiten, also der normalen Positivität entstand, die erste übernormale Negativität sein. Die Versuche können, wie die vorhergehenden, so angestellt werden, daß der Stab horizontal auf seinem Lager liegt und sein Ende sanft zwischen zwei und drei Fingerspitzen genommen wird. Wie lange hängt natürlich von der Wärme der Hand und des Zimmers ab; zur Sommerszeit, wenn das Zimmer ca. 20° warm ist, erscheint die subnormale Positivität meist schon nach 1 Sekunde, die folgende Nullelektrizität nach 2, die normale Negativität nach 3—4, die nächste Null nach 5 und die normale Positivität nach 6—8 Sekunden dauernder Berührung. Mehr als $1^1/_2$—2 mm erreichen die Ausschläge aber nur im kühlen Zimmer.

Das Hauptinteresse nimmt nun Folgendes in Anspruch.

Wenn das Ende a das ca. 30 cm langen und 8 mm dicken Ebonitstabes a b (Fig. 41 I) durch ausreichend lange Berührung mit den Fingern für Probe IIa bis etwa zum dritten Centimeter normal negativ geworden ist, so zeigt der dritte Centimeter Null, der vierte bis neunte zunehmende, 9.—15. abnehmende Positivität, 15.—17. Null, 17.—25. zunehmende und 25.—30. abnehmende Negativität — in maximo freilich nur 2—$2^1/_2$ mm; indessen die Ausdehnung, die Breite der einzelnen Gürtel ist viel größer als bei den ähnlichen, die wir oben während und nach Einwirkung der Flamme kennen lernten — offenbar weil die Fingerspitzen ein größeres Stück vom Stabe, z. B. den ganzen ersten Centimeter, viel gleichmäßiger erwärmten als jene Wärmequelle. 2) Hat das Ende a nach längerer Berührung bereits die normale Positivität bekommen, reicht diese bis zum vierten Centimeter und folgt darauf bis etwa zum sechsten Centimeter Null, so herrscht auf dem ganzen Stücke von 6—22 Negativität, die auf cm 10—13 am stärksten ist, während das Stück von 23 an bis zum Ende b des Stabes unelektrisch ist (Fig. 41 II). Nimmt man endlich 3) eine dünne flache Siegellackstange, die nur etwa 10 cm lang ist und verfährt ebenso wie vorher mit dem dreimal längeren Ebonitstabe, so zeigt sich das nicht berührte Ende negativ, wenn das berührte positiv ist (Fig. 41 III), und das nicht berührte positiv,

wenn das andere nach der Berührung negativ ist (IV), während die Nullzone auf dem vierten Centimeter, also ungefähr in der Mitte liegt.

Folglich liefern die beiden letzten Versuche dasselbe Bild wie wenn der Stab influenziert würde; und doch ist nirgends um ihn herum Elektrizität, die das thun könnte, vorhanden. **Das einzige, was geschah, ist die ungleiche Erwärmung:** Das nicht berührte Ende wurde viel weniger warm als das berührte, und ungefähr in der Mitte zwischen beiden muß die Erwärmung einen mittleren Wert gehabt haben. Aus Versuchen, die wir oben (S. 88) brachten, ergab sich ja auch schon, daß ein influenzierter Leiter nach Entfernung der Elektrizitätsquelle durchaus nicht augenblicklich unelektrisch wird, daß also das, wodurch die auf ihm erregten Elektrizitäten entstanden, die schnelle Temperaturänderung, verhältnismäßig langsam, d. h. in noch sehr leicht meßbarer Zeit, wieder aufhört. Und weil die Metalle sich viel leichter und auf eine viel größere Strecke hin erwärmen als die Harze, so bringt auch die durch die elektrische Bestrahlung entstehende Wärme auf dem Metallzylinder viel stärkere Influenzelektrizitäten hervor als auf dem Harzzylinder. Ganz ähnlich wie bei der Berührung mit den Fingern wird der Zylinder aber auch, wenn ihn in der Richtung seiner Längsachse elektrische Strahlen treffen, an dem zunächst getroffenen, dem vorderen Ende am meisten, und an dem entgegengesetzten am wenigsten erwärmt werden. Da nun das erstere und überhaupt der ganze Zylinder unter diesen Umständen um so wärmer werden muß, je näher ihm die Elektrizitätsquelle rückt, so wird man die dabei sich schließlich entwickelnde Gleichnamigkeit des so stark genäherten Gegenstandes nur so auffassen können, daß er nahezu ebenso warm wie jene geworden ist. Folglich stellt sich uns, wenn hierauf das vordere Ende zurückgezogen und wieder ungleichnamig wird, **die sogenannte Influenzelektrizität erster Art dar als die erste Umwandlung, und die Influenzelektrizität zweiter Art als die zweite Umwandlung der Quellenelektrizität nach unten;** — nach unten, denn der Wärme empfangende Gegenstand kann ja nicht wärmer werden wie der Wärme spendende. Die Influenzelektrizität zweiter Art hat nur dasselbe Gesicht, aber einen um zwei Grade tieferen Rang wie die Elektrizität der Quelle.

I

a – – o + + + + + + + o o – – – – – – b

II

a + + o o – – – – – – – – – – o o o b

Fig. 41.

a + + o – – – b III

a – – o + + + b IV

Die Erklärung der Influenz, die bisher unmöglich war, ergiebt sich aus unseren Beobachtungen ganz von selber und dürfte dies ein guter Beweis dafür sein, daß die auf diesen Blättern entwickelte Ansicht über den Ursprung und die unmittelbare Wirkungsweise der Elektrizität der Wahrheit nahe kommt. Und in ähnlicher Weise wie die Influenzwirkung sich ohne Elektrizitätsquelle, also künstlich, herstellen läßt, können wir auch die andere, nicht minder wichtige Doppelelektrizität, den Volta-Effekt, wiewohl nur schwach, auf eine ganz andere als die vorschriftsmäßige Weise hervorbringen, indem wir zwar hier wie dort dieselben physikalischen Momente setzen, aber nicht nur das nicht thun, wodurch die beiden Metalle beim regelrechten Fundamentalversuche so stark erwärmt werden, also das Anfassen ihrer Handgriffe und ihre Zusammenlegung unterlassen (S. 23), sondern auch ihre plötzlich auf die Erwärmung folgende Abkühlung in anderer Art, nämlich dadurch herbeiführen, daß wir sie mit einem Kartenblatte oder dergleichen ein einziges Mal sanft befächeln.

2. Die Berührung mit der Stricknadel.

Die Temperaturempfindlichkeit des Stricknadel**endes**, dessen wir uns namentlich zu der feinere Untersuchungen erst bequem ermöglichenden Probe IIa und IIb bedienen, ist wiederholt hervorgehoben worden, und S. 92 wurde angegeben, daß ein isolierter guter Leiter durch Berührung mit einem beliebigen Drahte, den wir in der Hand haben, infolge der Temperaturänderung, welche der erstere dabei erleidet, elektrisch bez. entgegengegengesetzt und immer wieder entgegengesetzt elektrisch gemacht werden kann. Es steigt oder fällt nämlich ein gutes Thermometer, das man mit der Spitze einer wärmeren oder kälteren Stricknadel berührt. Wenn es z. B. neben dem geheizten Ofen 28° zeigt und die Stricknadel, die auf dem etwa $1^1/_2$ m von ihm entfernten Arbeitstische liegt, wo nur $21^1/_2$° sind, an sein Gefäß mit der normal warmen Hand gehalten wird, so fällt das Quecksilber schon nach 8—10 Sekunden deutlich, und nach ca. 30 Sekunden ist es über einen halben Grad gesunken. Dies kann nicht von der weniger warmen Luft, die ich mitbrachte, herrühren: denn wenn ich mich ohne Nadel ebenso und ebenso lange vor dasselbe Thermometer stelle, so ändert es seinen Stand durchaus nicht. Wenn aber das Thermometer im Winter an demselben Platze nur $12^1/_2$° zeigt, ich friere und die Temperatur der Stricknadel ebenfalls nur $12^1/_2$° beträgt, so steigt es nach ca. 15 Sekunden langer Berührung mit der letzteren merklich und steht nach 30 Sekunden um $^1/_4$° höher, während es nicht im Geringsten in die Höhe geht, wenn ich mich demselben ebenso und ebenso lange wie vorher, aber ohne es mit der Nadel zu berühren, nähere. So primitiv sie sind, zeigen diese Beobachtungen doch genug; denn die Temperaturänderungen, die hier nur langsam auftreten und klein bleiben, müssen, wenn der Versuch besser gemacht wird, viel rascher erscheinen und größer ausfallen. Im Folgenden vergrößern wir sie aber anderweitig und kommen dadurch zu sehr lehrreichen Thatsachen.

Eine unserer gewöhnlichen Voltaschen Platten, z. B. eine $1^1/_2$ mm

dicke Zinkplatte, die Vormittags (den 21. Februar 1896) im nur 13° warmen Zimmer und mit kalten Händen auf irgend eine Weise, z. B. durch wiederholte Untersuchung mittelst der Probe IIa und nur für diese ein paar Millimeter elektrisch gemacht wurde, wechselt ihr Zeichen schon nach der ersten höchstens eine Sekunde dauernden Berührung mit der neben mir auf dem Tische liegenden Stricknadel (Nadel 1). Berühre ich die Platte aber mit einer anderen Nadel (Nadel 2), die einige Minuten auf einem Amboſſe lag, der soeben aus dem Zwischenfensterraume, wo nur $1^1/_2$° Wärme sind, oder gar von draußen, wo das Thermometer $2^1/_2$° Kälte zeigt, hereingenommen ward, im übrigen jedoch ganz der ersten gleicht, so erhalte ich Null; als ich die Platte jedoch zum zweiten Male mit der Nadel 2, die unterdessen wieder auf dem Amboſſe gelegen hatte, ebenso kurz berühre, so erscheint dieselbe Elektrizitätsart wieder und nach der dritten und vierten Berührung in noch stärkerem Grade. Nadel 2 vermochte also, weil sie erheblich kälter als die Platte war, diese bei der ersten Berührung nicht nur nicht zu erwärmen, sondern sie entzog ihr sogar noch Wärme, war aber, weil die Oberfläche des Amboſſes rasch wärmer wurde, schon bei der nächsten und noch mehr bei der folgenden Berührung imstande, die Temperatur der Platte ungefähr wieder so hoch zu bringen wie vor der ersten Erkältung. Hingegen durch die Berührung mit Nadel 1 wurde jene gleich um soviel wärmer wie damals (S. 40 f), als sie bei einer der ersten Annäherungen an die brennende Lampe ihr Zeichen wechselte. Denn nehme ich das freie Ende der abgekühlten Nadel, nachdem sie den Zeichenwechsel nicht hervorbringen konnte, zwischen die Fingerspitzen oder halte es ein paar Augenblicke an die warme Theekanne und berühre nun, so erscheint er gewiß sehr bald.

Um die Platte durch die einfache Berührung mit der Stricknadel umzuelektrisieren ist jedoch durchaus kein kaltes Zimmer nötig; vielmehr hat man, wenn es durch Heizung rasch wärmer und wärmer wird, zugleich den Vorteil, daß die Zeichenwechsel, weil der Ofen mithilft, sehr prompt und mit viel größeren, d. h. bis 15 mm großen Ausschlägen auftreten. So z. B. war das auf dem Tische neben mir liegende Thermometer am Nachmittage desselben Tages bis auf 22° gestiegen und stieg noch immer ein wenig, während mir selber teils vom Kaffeetrinken, teils von der strahlenden Wärme des nur $1^1/_2$ m von meinem Platze entfernten Ofens heiß war. Die Zinkplatte, die von den Versuchen am Vormittage noch ruhig auf dem Tische stand, wurde mittelst des Fundamentalversuches für IIa positiv gemacht und hatte nach 16maliger, je $^1/_2$—1 Sekunde dauernder Berührung mittelst der neben mir liegenden Nadel (1) rasch hinter einander $0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 + 0 - 0 +$ in bis über 15 mm großen Ausschlägen ergeben. Als ich aber den Amboß von der Fensterbank, wo nur $\pm$ 0° war, herein bringe, die andere Nadel $^1/_2$ Minute darauf liegen lasse und die soeben noch positiv gewesene Zinkplatte damit $^1/_2$ Sekunde berühre, so erscheint der Wechsel nicht wie vorher nach jeder Berührung mit der Nadel 1 sofort, sondern ich erhalte Null, nach der zweiten und dritten Berührung abermals Null und erst nach der vierten bekomme ich Negativität. Aber sie erscheint doch, offenbar

weil Nadel und Platte unter der Einwirkung der beiden intensiven Wärmequellen inzwischen für die Elektrisierung durch sehr kleine Temperaturänderungen wieder warm genug geworden waren.

Wenn man nun den Draht stärker als bisher abkühlt, so wird die damit berührte, vorher ganz unelektrische Platte durch die plötzliche Abkühlung ebenso elektrisch wie nach ruckweiser Erwärmung und wechselt nach jeder stärkeren Abkühlung gleichfalls ihr Zeichen. Damit ist die bequemste Methode gegeben, mittelst welcher das vielgenannte Umwandlungsgesetz sich in der Richtung nach unten noch weiter als bisher verfolgen, oder genauer ausgedrückt, sich darthun läßt, daß auch, wenn statt plötzlicher Erwärmung, plötzliche Abkühlung die erste Temperaturänderung ist und darauf rasch Wiedererwärmung, die hier vorzugsweise durch die mit der Probe auf Elektrizität verbundenen Manipulationen verursacht wird, folgt, Elektrizität, und zwar neue nach jeder neuen Abkühlung, aber solche entsteht, deren Zeichen sich umgekehrt hat.

1. Das Zimmer ist kalt (12°) und ich stecke die Stricknadel in eine Schüssel voll Schnee, der 0° hat. Ziehe ich sie nach einigen Minuten wieder heraus und berühre mit ihrem erkälteten, gleichviel ob noch nassen oder rasch abgetrockneten Ende so schnell wie möglich einige Sekunden lang die unelektrische $1^1/_2$ mm lange dicke Zinkplatte, so ist die letztere mit Probe IIa meist sofort positiv und wird es rasch noch mehr, z. B. $\underset{+}{5}\ \underset{+}{10}\ \underset{+}{20}$. Durch die bis auf Null abgekühlte Nadel, die unterwegs jedenfalls nur sehr wenig wärmer geworden war, wurde die Zinkplatte plötzlich erkältet, durch die ihr bei der darauf folgenden Untersuchung zugestrahlte Wärme aber rasch wiedererwärmt, und das Ergebnis dieser beiden Temperaturwechsel war die verhältnismäßig starke Positivität. Hierauf berühre ich die Platte zum zweiten male mit der gleich nach der ersten Berührung wieder in den Schnee gesteckten Nadel, diesmal aber länger, nämlich $1^1/_2$ Sekunden, und nun erhalte ich $\underset{-}{0}\ \underset{-}{^1/_2}\ \underset{-}{1}\ \underset{-}{5}\ \underset{-}{15}$. Mithin ist diese Negativität der Ausdruck ihrer zunehmenden Wiedererwärmung nach etwas stärkerer Abkühlung. Allein noch mehr kühlte sich die Platte ab, als auf sie die aus dem Schnee gezogene Nadel, woran noch Schneeklümpchen hingen, $2^1/_2$ Sekunden lang gelegt wurde; denn nun ergab die wiedererwärmende Untersuchung das erfreuliche Resultat $\underset{+}{^1/_2}\ \underset{+}{3}\ \underset{+}{8}\ \underset{+}{15}$. Endlich legte ich etwa $^1/_2$ Theelöffel voll Schnee auf die Platte, um sie noch stärker abzukühlen: Solange der Schnee und das sogleich entstehende Schmelzwasser darauf lag, war sie unelektrisch; sowie die beiden aber, damit die Wiedererwärmung schneller vor sich gehen könne, abgeschleudert worden sind, erhalte ich $\underset{-}{1}\ \underset{-}{4}\ \underset{-}{6}$. Im Ganzen ergaben die vier immer stärker werdenden Abkühlungen also $+ 0 - 0 + 0 -$, und wenn man Schnee, der mehrere Grade kalt ist, nimmt, so erscheinen noch viel mehr Wechsel.

Höheren Ansprüchen genügen diese Versuche freilich nicht; aber gewandte Physiker werden sie leicht vervollkommnen können, weil der eingeschlagene Weg durchaus praktisch ist und sich auch umgekehrt, wenn man die Nadel

in immer wärmer werdendes Wasser taucht, zur Vorführung der Zeichenwechsel in der Richtung nach oben benutzen läßt. Andererseits kann man auf diese Weise auch den Differenzialversuch für Zink und Kupfer (S. 27) sehr gut ausführen und sehen, daß letzteres zur Erzielung desselben Effektes wie beim ersteren, allezeit einer stärkeren Erwärmung bezw. Abkühlung bedarf.

2) Etwas unbequemer, jedoch besonders instruktiv hinsichtlich des Gewichtes, das der Wiedererwärmung unter Umständen zukommt, ist die Methode, die Platte selber wiederholt in die Kälte, am einfachsten also in der kalten Jahreszeit hinaus vors Fenster stellen und wieder hereingeben zu lassen.

Zum Beispiel war am 16. April 1895 Vormittags 8 Uhr draußen 6° Wärme, 74 % r. F., kein Wind und wolkenloser Himmel, während Lamprecht's Polymeter in meinem ungeheizten Zimmer auf dem Arbeitstische 14° und 34 % r. F. zeigte. Von 8′ 3″ bis 8′ 50″ stellte ein Gehilfe die Zinkplatte des vorigen Versuches, der mit IIa 0 +, d. i. die erste untere Positivität gezeigt hatte, indem er nur ihren Glasfuß und zwar ganz unten anfaßte, 14 mal hinaus auf die steinerne Bank des nördlichen Fensters, schloß dasselbe jedesmal nachher sofort, gab die Platte nach Verlauf von je 1—3 Minuten mit derselben Vorsicht wieder herein, setzte sie immer auf denselben, von mir etwa 30 cm entfernten Platz des Tisches, und die sogleich mit IIa vorgenommenen Untersuchungen lieferten:

```
Zn. 8′ 3″     hinaus und 8′ 6″     herein = 0  1  8
                                                —  —
 "  "  7½″      "    "   "  8½       "    = 0  ½  8
                                                +  +
 "  "  10½″     "    "   "  11½″     "    = 2  1  1
                                             +  +  +
 "  "  13½″     "    "   "  15″      "    = 0  4  3
                                                —  —
```

(also war beim vorhergehenden Versuche die Zeit von einer Minute zur Herbeiführung des Zeichenwechsels zu kurz.)

```
Zn. 8′ 16¾″ hinaus und 8′ 18″   herein = 2  2
                                          —  —
 "  "  19½″   "    "   "  21½″    "    = 0  5  15
                                             +  +
```

(also reichten nahezu 1¼ Minute nicht aus.)

```
Zn. 8′ 23½″ hinaus und 8′ 25½″ herein = 0  0   1   9
                                                —   —
 "  "  28″     "    "   "  29½″   "    = 0  ¼  1½   3
                                             +   +   +
 "  "  31¼″    "    "   "  32¾″   "    = 0  ¼   3   3
                                             —   —   —
 "  "  35″     "    "   "  36¾″   "    = 0  2   5   3
                                             —   —   —
```

(draußen schon 6° 8!)

```
Zn. 8′ 38½″ hinaus und 8′ 41½″ herein = 0  ½  7
                                             +  +
 "  "  43″     "    "   "  46″     "    = 2
                                          +
 "  "  47″     "    "   "  48½″    "    = 0  ¼  1  1½
                                             —  —  —
 "  "  50″     "    "   "  51″     "    = 0  5  5
                                             —  —
```

Durch die wiederholte Abkühlung und Erwärmung war also im Ganzen

0 — 0 + 0 — 0 + 0 — 0 + 0 — 0 + 0 —

erhalten worden.

Da nun kein Wind ging, so gelang es wiederholt die Platte draußen, kurz bevor sie herein genommen ward, mit Probe IIa zu untersuchen; dieselbe ergab aber stets o o, und daraus folgt, daß es nicht die Abkühlung als solche oder allein, sondern vielmehr die darauf folgende Wiedererwärmung, also ein doppelter Temperaturwechsel war, wodurch die Elektrizität entstand. (Vergl. S. 66). Ob die erste Temperaturänderung Erwärmung oder Abkühlung ist, macht demnach für die Entstehung der Elektrizität nichts aus; doch muß in beiden Fällen die zweite, die in entgegengesetzter Richtung erfolgende, also einer plötzlichen Umkehr vergleichbare Temperaturänderung rasch eine bedeutende Größe erreichen. In der Natur aber scheint die Wirkung am großartigsten zu sein, wenn, wie bei den gewöhnlichen Gewittern, die Erwärmung das erste und die Abkühlung das zweite ist.

Ebenso nun, wie durch Berührung mit der in warmes Wasser getauchten Stricknadel kann die Voltasche Platte dadurch, daß man sie aus dem Schatten in den Sonnenschein setzt, sich daselbst ähnlich wie in der Nähe des Ofens oder der Lampe hinreichend erwärmen läßt und hierauf plötzlich wieder zurück in den Schatten nimmt, zunächst überhaupt elektrisch und in der Folge nach Wiederholung dieser Temperaturänderungen wiederholt entgegengesetzt elektrisch gemacht werden, z. B. war am 14. April 1895 Nachmittags 3 Uhr die Temperatur in dem gegen Mittag ein wenig geheizten Zimmer auf dem Tische, der noch keinen Sonnenstrahl bekommen hatte, 19°. Die Zinkplatte ergab daselbst mit IIa o +, d. i. die normale Positivität, da das Zimmer normal warm und mir, wie ich hinzufügen muß, sehr warm war. Indessen wurde bereits ein Teil des Fensterbrettes von der Sonne intensiv bestrahlt und zeigte das dort liegende Thermometer, da der Himmel wolkenlos war, über 32°.

	in die Sonne	und	zurück auf den Tisch gestellt	gab mit IIa					
Zn.	3′ 1″	„	3′ 2″	„	„	„	0	8	15
„	„ 2¾″	„	„ 3¾″	„	„	„	0	$\overline{6}$	$\overline{10}$
								+	+
„	„ 4¾″	„	„ 5¾″	„	„	„	0	5	9
„	„ 6¾″	„	„ 9¾″	„	„	„	3	$\overline{5}$	6
							+	+	+

Während die Platte das letzte Mal in der Sonne stand, wurde sie wiederholt mit IIa untersucht, ergab aber nur Null. Hieraus erhellt, daß sie nur durch die plötzliche große Abkühlung samt der darauf folgenden neuen Erwärmung und Abkühlung bei bez. nach der IIa Probe von neuem elektrisch wurde, gerade so wie sie bei dem am nächsten Vormittage im ungeheizten Zimmer angestellten Versuche (S. 99) jedesmal durch die auf eine Abkühlung folgende Erwärmung wieder elektrisch ward.

Jetzt verstehen wir auch mit einem Male jene Beobachtungen von Berührungselektrizität, die ihrer Zeit, obgleich ähnliche schon von Swammerdam, ja sogar einmal hohen Ortes angestellt worden waren, so ungeheueres

Aufsehen erregten und bis heute noch nicht erklärt werden konnten: **Die Grundversuche Galvani's.**

Als die Froschschenkel, welche er am eisernen Geländer seines Gartens aufgehängt hatte, vom Winde in Bewegung gesetzt wurden, kühlten sich namentlich ihre freien Enden infolge der durch die Bewegung gesteigerten Verdunstung rasch ab; die Eisenstäbe aber, gegen welche sie der Wind wehte, waren den Tag über — die Beobachtung geschah ja an einem späten Nachmittage anfangs September — unzweifelhaft beträchtlich warm geworden. Folglich wurden die getroffenen Eisenstäbe plötzlich ganz ähnlich abgekühlt wie unsere Metallplatte durch die kalt gemachte Stricknadel, während die mit ihnen in Berührung gekommenen Froschteile sich schnell erwärmten. Es war also eine doppelte Ursache für Elektrizitätserregung vorhanden: dort entstand Abkühlungs-, hier Erwärmungselektrizität, die bei dem schroffen Unterschiede der Temperaturen einander sicherlich entgegengesetzt waren, und so kam es zu einer die Nerven reizenden, wenn auch im übrigen nicht wahrnehmbaren Entladung. Daß aber die toten Frösche, „si digito uncinulum adversus ferream superficiem (eines der Eisenstäbe) premeretur, excitabantur et toties ferme quoties hujusmodi pressio adhiberetur“, ist nach unseren Versuchen ebenso leicht begreiflich: denn durch den Finger ward der kupferne Haken stärker erwärmt als das Eisen, weil das Kupfer sich in dieser Beziehung zum Eisen verhält wie das Zink zum Kupfer. Und gelang Galvani der Versuch auch im Zimmer, so steht das nicht im Widerspruche zu der obigen Erklärung; denn hier in der Nähe der Menschen erwärmte sich die Oberfläche des Metalles viel mehr als jene des enthäuteten Schenkels, und kühlte sich dieser bei seiner Bewegung durch die Luft, wenn auch nicht so stark als im Freien, entschieden ab.

Wie nun Galvani zur Anwendung seines „Leitungsbogens“ überging und ihn natürlich mit den Fingern anfaßte, so erwärmte er ihn, und schon dadurch mochte das Metall elektrisch geworden sein; setzte er es aber auf Nerv und Muskel, so ward dasselbe auf diesen ihr Wasser so ungemein rasch verdunstenden und zweifellos verschieden temperierten Flächen plötzlich am einen Ende mehr, am andern weniger abgekühlt. Und als er gar einen Leitungsbogen aus zwei verschiedenen, mithin verschieden leicht erwärm- und abkühlbaren Metallen nahm, so mußten die Temperaturdifferenz und mit ihr die entstehenden einander entgegengesetzten Elektrizitäten erheblich größer bez. stärker werden. Da nun in seiner Versuchsanordnung gleich ein außerordentlich feines Elektroskop mit inbegriffen war, so hatte er alles beisammen, was zur Erzeugung und zum denkbar besten Nachweise von Elektrizität gehörte.

Indem aber Volta von Nerv und Muskel ganz absah und nur mit den beiden, schon von Galvani benutzten Metallen arbeitete, kam er wieder auf die von ihm schon in seinem Elektrophor und Kondensator so vortrefflich verwendete Methode mit zwei gleichen, gestielten Scheiben zu experimentieren, zurück, denselben, womit Aepinus bereits vor Erfindung dieser beiden Apparate viele Versuche angestellt hatte; und als er schließlich dadurch, daß er die wie bei diesen Instrumenten auf einander passenden

Platten oftmals zusammenlegte und wieder auseinandernahm, beide Elektrizitäten erhielt (die übrigens bereits Bennet, der gleichfalls verschiedene Körper, um sie auf Elektrizität zu prüfen, mit einander in mehr oder weniger innige Berührung brachte und wieder von einander trennte, zu Gesichte gekommen waren*)): So bemerkte niemand, daß Volta's und Galvani's Versuche diejenigen physikalischen Vorgänge, rasche Erwärmung und rasche Abkühlung, mit einander gemein hatten, welche auch während und nach der Reibung vorhanden sind — bei bez. nach der Berührung erreichen sie unter gewöhnlichen Umständen einen nur geringen, bei bez. nach der Reibung aber einen viel höheren Grad — das ist der Unterschied, der darin, was wir Spannung nennen, in so großartiger Weise zu Tage tritt.

Kapitel XIV.

Nach Befächelung sowie nach Verdunstungskälte und Wiedererwärmung entsteht Elektrizität.

Von den verschiedenen Methoden, eine mehr oder weniger große Abkühlung und Wiedererwärmung und dadurch Elektrizität hervorzubringen, die sich mit unserem Pendelkondensator nachweisen läßt, verdienen noch der Besprechung 1. das Fächeln und 2. die Verdunstung, a) des Wassers, b) der leicht flüchtigen Körper.

1. Das Befächeln der Voltaschen Platten.

Es kann nicht zweifelhaft sein, daß ein mit einem Fächer oder fächerartig wirkenden Gegenstande ausgeführter Schlag den Körper, gegen welchen er gerichtet ist, abkühlt, und daß dies bis zu einem gewissen Punkte umso mehr geschieht, je öfter die Schläge wiederholt werden. Wenn ich nun diese Temperaturerniedrigungen auch nicht wissenschaftlich messen konnte, so genügt es für unsern Zweck zunächst doch vollständig, die Anzahl der Fächerschläge als Maß für die erfolgte Abkühlung zu benutzen. Da die Metalle am temperaturempfindlichsten sind, und die kleine Abkühlung, die bei der Trennung der Voltaschen Platten von einander entsteht, sich durch eine oder ein paar sanfte Bewegungen mit dem offenen Fächer gut nachahmen lassen muß, so richten wir die Fächerbewegungen einfach gegen diese.

*) S. das unvergleichliche Werk von Ostwald, Elektrochemie. Leipzig 1896, S. 323.

Ich nehme einen kleinen Fächer, der nur 10—12 cm Radius hat und führe im kühlen Zimmer mit kalten Händen dicht vor der auf dem Tische stehenden Platte erst einen, dann kurz hinter einander zwei oder drei, dann noch einmal so viel sehr leichte Schläge aus u. s. f., und untersuche das Metall nach jeder Befächelung mindestens ein paar mal mittelst Probe IIa. Weil man so sehr wenig dazuthut, so überrascht das Resultat zunächst allemal beim Zink; und wenn man gar noch sieht wie schwerfällig dagegen das Kupfer ist, so verdoppelt sich das Vergnügen. Denn der Unterschied springt ohne Weiteres in die Augen und im Augenblicke begreift sich: Gerade die Verschiedenheit in der plötzlichen Abkühlung der Voltaschen Platten bringt, nachdem sie beim Zusammenlegen erwärmt wurden, den Effekt zustande — so klar wird einem alles, daß man ob der Einfachheit der ganzen Sache verwundert dasteht und all die viele Mühe und Arbeit vergißt, die sie gekostet hat.

Zum Beispiel wurde das Zink, das längere Zeit vor mir im nur 13° warmen Zimmer stand und bei den ersten beiden IIa Proben $\underline{1/2}$ und $\underline{2}$ ergab, nach

nach 1 Schlage	. . . .					0	0
„ 3 Schlägen	. . . .				0	$\underset{+}{1/2}$	$\underset{+}{1}$
„ 6 „	. . . . .		0	0	0	$\underline{1}$	$\underline{2}$
„ 12 „	. . . .			0	0	$\underset{+}{1}$	$\underset{+}{4}$
„ 24 „	. . . .	0	0	0	$\underline{1/2}$	1	$\underline{4}$
nach wieder 24 „	. . . . . .			0	0	$\underset{+}{1/2}$	$\underset{+}{1\,1/2}$
							$\underset{+}{3}$
nach abermals 24 „	. . . .				0	$\underline{1/2}$	$\underline{3}$
und nach nochmals 24 „	. . . .			0	0	$\underset{+}{1/2}$	$\underset{+}{3}$

das Kupfer jedoch, das vor der Befächelung zunächst 0 und bei der zweiten Probe erst 1 mm Negativität zeigte,

nach 1 Schlage	. . . .				0	0
„ 3 Schlägen	. .			0	$\underline{1/2}$	$\underline{2}$
„ 6 „	. . .				$\underline{2}$	$\underline{4}$
„ 12 „	. . .				0	$\underline{3}$
nach wieder 12 „	. .			0	$\underline{1}$	$\underline{4}$
erst nach 30 „		0	0	0	$\underset{+}{1}$	$\underset{+}{4}$
nach wieder 30 „	. .			0	$\underset{+}{3}$	$\underset{+}{5}$
nach 50 „	. . .				$\underset{+}{1}$	$\underset{+}{5}$ und erst
„ 60 „			0	$\underline{1/2}$	$\underline{1}$	$\underline{4}$

Denken wir nun also, daß die durch die beiden IIa Proben vor der Befächelung entstandene Negativität des Zinks und Kupfers die Verbindungselektrizität, d. h. diejenige Elektrizität wäre, welche die beiden Platten durch

Wassers auf der Platte verschwunden war. Die ebenso behandelte **Zink**-platte ergab aber

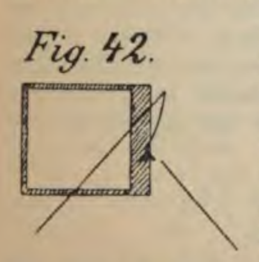
$$0\;0\;\underset{-}{8}\;0\;0\;\underset{+}{12}\;0\;0\;\underset{-}{4}\;0\;0\;\underset{+}{3}\;0\;0\;0\;\underset{+}{3}\;\Big\|\;0\;0\;\underset{+}{2}\;\underset{+}{5}.$$

Da auf dem Zink ebenso viel Wasser lag als auf dem Kupfer, und die Umstände sich seit der Untersuchung des letzteren, weil sie jener des ersteren unmittelbar vorherging, kaum etwas geändert haben konnten, so sehen wir diesmal schon an der viel kürzeren Zeit, binnen welcher das Wasser auf dem Zink verdunstet war, sehr gut, daß dieses sich durch mich viel leichter erwärmte, als das Kupfer — ein Umstand, der bezüglich der behaupteten verschiedenen Erwärmbarkeit dieser beiden Metalle darum nicht zu unterschätzen ist, weil wir diesen Unterschied meist nur von der früher oder später eintretenden und einen höheren oder geringeren Grad erreichenden Elektrisierung des einen oder anderen durch die zunehmende Untersuchungswärme herleiteten. Er machte sich aber, dieser Unterschied, auch hier wieder in der bekannten Weise geltend; denn schon um die erste Elektrizität zu bekommen, waren beim Zink nur halb so viel Proben nötig als beim Kupfer, und als sie erschien, zeigte sie sich bei jenem gleich noch einmal so stark, wie bei diesem.

So einfach es ist, so sagt das Resultat doch viel. Denn von der Wasserverdunstung rührt, weil dabei unzählbare Millionen neuer Kochsalz-, Gyps- und anderer Globuliten entstehen, ein sehr großer Teil der in unserer Atmosphäre stets vorhandenen Elektrizität samt ihrem Ozongehalte her, während ein anderer offenbar umgekehrt der bei Wiederverdichtung des Wassergases zu Tropfen frei werdenden Wärme entstammt, die auf die größeren Krystalle, die sich erhalten haben und trocken geblieben sind, einwirkt. Somit bestätigt sich auch die Vermutung **Volta's**, daß Elektrizität, weil er sie beim Regen und Nebel, an Wasserfällen u. dergl. auffallend stark fand, durch die Verdampfung des Wassers und Wiederverdichtung des Dampfes entstehe.

b) Die Verdunstung leicht flüchtiger Körper.

Um sich ein Bild von der durch Verdampfung, z. B. des Aethers entstehenden Elektrizität zu machen, kann ganz ähnlich wie bei der Wasserverdunstung verfahren werden; nur thut man gut den Aether nicht unmittelbar auf die Voltasche Platte zu gießen, sondern sie erst mit Fließpapier und zwar derartig zu bedecken, daß wenigstens an einer Seite ein etwa 8 mm breiter Streifen, worauf das Pendelblättchen bequem liegen kann, frei bleibt (Fig. 42). Denn wenn man das von Aether benetzt gewesene Metall mit dem Pendel berührt, so bekommt sein Faden, wahrscheinlich weil er, wie bei großer Hitze, oberflächlich weich und leitend wird, leicht die Eigenschaft von dem elektrischen Stabe bleibend influenziert, also entgegengesetzt elektrisch zu werden, sodaß das Instrumentchen nachher viele Tage nicht zu brauchen ist.


Fig. 42.

Verfährt man nun so, daß trockener Platz für die Probe IIa übrig bleibt, so wird oft schon nach dem ersten, jedenfalls aber nach dem zweiten Aufgusse, z. B.:

das Zink $0\ \underset{-}{1}\ \underset{-}{7}\ \underset{-}{2}\ 0\ 0\ \underset{+}{\frac{1}{2}}\ \underset{+}{6}\ \underset{+}{4}\ \underset{+}{2}\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ \underset{-}{\frac{1}{2}}\ \underset{-}{1}\ \underset{-}{2}\ \underset{-}{2}\ \underset{-}{3}\ \underset{-}{2}\ \underset{-}{2\frac{1}{2}}$ und

das Kupfer $0\ 0\ 0\ \underset{-}{\frac{1}{2}}\ \underset{-}{2}\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ \underset{+}{\frac{1}{2}}\ \underset{+}{1}\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0.$

Die letzte Negativität des Zinks ist, da sie sich nicht oder doch nicht leicht umwandeln ließ und der Aether längst verflogen war, ohne Zweifel die normale. Das Kupfer erwärmte sich aber nach der gleichen Abkühlung so schwer wieder, daß zuvörderst vier Proben nötig waren, um es dadurch überhaupt nur elektrisch zu bekommen, beim Zink genügten aber zwei; ferner bedurfte dieses nur drei, jenes aber sechs Proben, ehe die subnormale Positivität erschien; ferner, daß die normale Negativität beim Kupfer auch nach zehn Proben nicht erlangt werden konnte, und endlich, daß bei ihm die Elektrizität lange nicht so stark wurde. Erst mehrere Minuten später gab das Kupfer $0\ \frac{1}{2}\ \underset{-}{4}$, also die normale Negativität, offenbar nachdem es wieder die Temperatur der Umgebung angenommen hatte.

Eine andere Methode, die bei der Verdampfung leicht flüchtiger Körper entstehende Elektrizität aufzuzeigen, besteht darin, daß man einen etwa wallnußgroßen Wattebausch an einem seidenen Faden frei aufhängt (Fig. 43), ein ätherisches Oel, Alkohol, Chloroform u. dergl. darauf tropft und nun in der Nähe des Bausches die Probe IIb macht. Aether, Chloroform und Schwefelkohlenstoff entwickeln dabei, und zwar sogar im warmen Zimmer eine solche Kälte, daß sie teils an den Wattefäden, teils an dem unteren Ende a des seidenen Fadens und an dessen Abschnitte b zu weißen krystallinischen Massen gefrieren und von dieser so ungewöhnlich starken Erkältung werden wir, wie schon in der Vorrede bemerkt wurde, noch weiter Gebrauch machen. Hier genügt jede Sorte von schwachem Spiritus, eine flüchtige Säure, also vor allem Essigsäure, Salzsäure, Salpetersäure, Ameisensäure oder irgend ein ätherisches Oel, um Elektrizität zu erhalten.

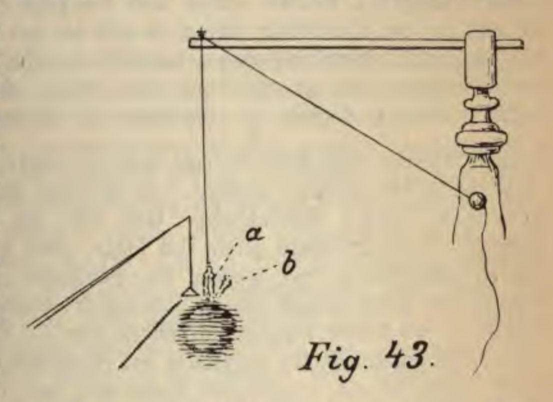


Fig. 43.

Was man bekommt, ist, da das Pendel, das mit dem kondensierenden Drahte (der Stricknadel S. 17, Fig. 12) berührt wurde, in der Regel vor dem Harzstabe fortgeht, meist Positivität, und zwar 1—4 mm; aber nicht etwa sogleich oder während die Verdampfung sehr lebhaft ist und die Vegetationen des Aethers, Chloroforms und Schwefelkohlenstoffes recht üppig an-

schießen, sondern erst, wenn dies nachläßt, d. h. ein paar Minuten, also wenn die größte Kälte vorbei ist, die *Wiedererwärmung eintritt* und unaufhaltsam fortschreitet. Da diese ebenfalls nicht lange dauert, so wird auch die Elektrizität, die anfangs rasch zunahm, bald schwächer; aber ein paar Minuten lang kann man sie jedenfalls beobachten.

Als ich vor Jahren dahinter gekommen war, daß die rasche Abkühlung ebenso gut wie die rasche Erwärmung Elektrizität erzeuge, aber noch nicht wußte, daß auf sehr starke Abkühlung schnell zunehmende Erwärmung folgen müsse, wenn die Wunderkraft erscheinen solle, und nun — es war am 5. Januar 1894 — die wohlgelungenen Versuche mit den auf Watte so kolossale Kälte entwickelnden Flüssigkeiten machte, wurde die Freude darüber bald getrübt, weil es immer dabei blieb, daß die Elektrizität nicht, wie ich vermutet hatte, während der lebhaftesten Kälteentwickelung, sondern eben erst etwas später und auch dann nicht in der unmittelbaren Nähe der kältesten Stellen auftrat Gerade hieraus erkennt man aber unzweideutig, *daß zur Elektrizitätserregung nach tiefer Erkältung rasche Wiedererwärmung gehört.* Ein Zufall bestätigte das auch sehr hübsch, als an einem kalten Mittage (den 7. Februar 1895), während ich noch solche Versuche machte, endlich eingeheizt wurde. Sowie nämlich zum ersten Male Kohlen nachgelegt werden sollten und die Hitze aus der Ofenthüre bis her zu mir an den Arbeitstisch schlug, so gab die mit Spiritus befeuchtete Watte, die ich gerade untersuchte, sofort doppelt so große Ausschläge wie vorher, als die Ofenthüre noch zu war und man kaum schon etwas vom Einheizen spürte, nämlich $\underset{+}{8}$ statt $\underset{+}{3}$. Nachdem die Ofenthüre aber wieder herangemacht worden und keine Wärme mehr zu fühlen war, so erhielt ich auch nicht mehr die großen, sondern nur so kleine Ausschläge wie vor der ungewöhnlich großen Bestrahlung. Und bei den die folgenden Tage angestellten Wiederholungen zeigte sich sogar, daß während der plötzlichen, so starken Erwärmung von weitem die Positivität neben dem Spiritus verdampfenden Wattebausche sich in Negativität verwandelte und daß Positivität erst 3—4 cm davon entfernt vorhanden war — wahrscheinlich hatte sich die Luft in der unmittelbaren Umgebung des festen Körpers, der Watte, momentan stärker erwärmt als in größerer Entfernung von ihr.

Von besonderem Interesse sind noch die *ätherischen Oele*, weil sie, und namentlich wenn die Sonne darauf scheint, bekanntlich *Ozon entwickeln.* Da nun die Ozonbildung, wie wir später auch beweisen werden, immer sich als die Wirkung von Elektrizität, die im Entstehen begriffen ist, herausstellt, so wird nunmehr die Art und Weise, wie die erstere zustande kommt, leicht begreiflich und niemand kann daran zweifeln, daß das nach Erwärmung und Abkühlung erscheinende Ozon den Pflanzen und Pflanzenteilen, die ätherische Oele besitzen, von außerordentlichem Nutzen sei. Aber auch eine große Menge von den rätselhaften Bewegungserscheinungen so vieler Gewächse und namentlich von jenen ihrer Befruchtungsorgane, die ja in ätherischen Oelen gleichsam schwelgen, dürften sich demzufolge einfach als elektrische Vorgänge erweisen.

Endlich kann ich, nachdem so sehr häufig gezeigt wurde, daß „kalt auf warm“ oder „warm auf kalt“ Elektrizität errege, mich nicht enthalten, an die von einzelnen großen Aerzten schon lange benutzte Erfahrung zu erinnern, daß ungemein viele Uebel und Krankheiten, die weder der alleinigen Anwendung von Kälte, noch jener von Wärme weichen wollen, obgleich jede von beiden, allein gebraucht, bis zu einem gewissen Zeitpunkte lindert — namentlich aber eine große Menge von Erkältungskrankheiten, die also durch übermäßige Einwirkung von Abkühlungselektrizität auf gewisse Nerven entstanden sind, sich erstaunlich schnell dauernd bessern oder auch oft gänzlich verlieren, wenn sie konsequent abwechselnd mit Kälte und Wärme, z. B. abwechselnd mit kaltem und mit warmem Wasser, behandelt werden. Hierbei tritt offenbar ebenso oft, wie die Temperatur wechselt, Elektrizitätswechsel auf, und wie günstig der Gebrauch schwacher Wechselströme in vielen Fällen wirkt, ist weltbekannt. Die umschichtige Behandlung mit Wärme und Kälte oder Kälte und Wärme scheint aber darum so viel zu leisten, weil die Zeichenwechsel nicht zu rasch hinter einander erfolgen, die Nerven Zeit haben, die Positivität oder Negativität auf sich einwirken zu lassen und das eine oder andere wenigstens doch eine halbe oder ganze Minute oder überhaupt so lange beibehalten werden kann, als der Kranke davon eine entschiedene und zwar angenehme Wirkung verspürt.

Obgleich sich in Bezug auf die vorhergehenden Auseinandersetzungen noch manches Beachtenswerte anführen ließe, so sind wir nunmehr doch so weit, daß die zufällig gemachten Beobachtungen, von welchen meine elektrischen Studien ausgingen, genauer verfolgt werden können, nämlich die über die Anziehung eines Tropfen Wassers durch eine leicht verdunstende, in ihm sich unter Wärmeentwicklung auflösende Flüssigkeit, und die Abstoßung der letzteren durch einen ähnlichen, aber noch flüchtigeren Körper (Vorr. S. I). Da der Tropfen, welcher angezogen oder abgestoßen werden soll, so klein wie ein Nebeltröpfchen sein kann, sich aber zeigen wird, daß nicht jede leicht verdunstende Flüssigkeit einen Tropfen von jeder beliebigen leichtflüssigen Substanz anzuziehen bez. abzustoßen vermag, die beiden auf einander wirkenden Flüssigkeiten aber unbedingt mehr oder weniger flüchtig sein müssen, so leuchtet ein, daß es sich hierbei einerseits um einigermaßen komplizierte, andererseits aber auch um Vorgänge von weittragender Bedeutung handelt, und zwar vor allem darum, weil sie eine Fülle von Beobachtungen erschließen, die uns den Kern der Mikrophysik aufdecken, dabei gewissen theoretischen Schlußfolgerungen über die Wirkungsweise der sogenannten Molekularkräfte eine bessere Unterlage liefern und namentlich für unsere Auffassung über das Wesen der Chemie, wenn anders sie hauptsächlich Mikroelektrik ist, von Nutzen sein müssen. Das Ursächliche sind immer wieder Temperaturwechsel, Erwärmungen und Abkühlungen, die zwar meist unmeßbar klein, gleichwohl aber völlig zuverlässige Werte sind, weil sie sich auf bestimmte Thatsachen der Makrophysik stützen. Allerdings muß man anfangs sich in ihr Dasein und ihre Wirksamkeit wie in etwas Ungewöhnliches erst hineindenken.

Kapitel XV.

Ein Wassertropfen wird von Salpeter-, Salz- oder Essigsäure angezogen.

Wärmehof und thermometrischer Nachweis der Erwärmung einer flüchtigen Säure durch den Wasserdampf der Luft. Probe auf die Richtigkeit der Erklärung des Wasser-Säure-Versuches. Strahlenförmige Ausbreitung gewisser Flüssigkeiten. Schwefelsäure, Benzol, Chloroform, Schwefelkohlenstoff.

Wie es ursprünglich geschah, setze ich mit einem feinen Pinsel (Nr. 1 oder Nr. 2 für Wasserfarben) einen 1—2 mm großen Tropfen aus einem Gefäße mit einfachem Brunnenwasser von gewöhnlicher Temperatur auf ein Objektglas, das bereits auf dem Tische des Präpariermikroskopes liegt; und schon, damit jenes bei der Beobachtung unter der Lupe nicht beschlage, wurde das Instrument vorher in der Ofenröhre so lange erwärmt, bis es sich nicht mehr kalt anfühlte, also auf 22°—23°. Infolgedessen wird der aufgelegte Wassertropfen bei gewöhnlichen Zimmertemperaturen ein wenig erwärmt, und gerade das war bei den auf der ersten Zeile angedeuteten mikrochemischen Untersuchungen meine Absicht: Er sollte etwas mehr wie gewöhnlich verdunsten, also lebhaft, wenn auch unsichtbar, Wasserdampf aussenden. Dabei wird er jedoch wieder kälter und bereits infolgedessen etwas elektrisch; doch davon später. Alsdann tauche ich einen andern ähnlichen Pinsel in ein Näpfchen mit Salpetersäure und nähere ihn unter der 15fachen Vergrößerung und bei angehaltenem oder abgelenktem Atem dem Fuße des Wasserberges von der Seite her und mit der Spitze voran (Fig. 44). Ist nun der Objekttisch hinreichend warm, so schießt der Wassertropfen W schon nach wenigen Sekunden mit seiner ganzen, der Pinselspitze zugewandten Hälfte W, oder doch mit einer breiten Zunge plötzlich auf die Salpetersäure los und stürzt, weil es notwendig ist, den Pinsel P sehr tief zu halten, häufig in denselben hinein.



Fig. 44.

Bis zu dem Augenblicke, wo der Effekt eintritt — und jedermann wird über die großartige und fast blitzschnelle Bewegung staunen — ist nun Folgendes vor sich gegangen.

Von dem Momente an, wo der erste Pinsel aus dem Gefäße mit Wasser gezogen wird, das so warm wie das Zimmer ist, kühlte sich sein Ende teils wegen seiner Zusammensetzung aus vielen nur lose aneinander klebenden, äußerst fein zulaufenden Haaren, die zusammen eine scharfe Spitze bilden, teils infolge der Verdunstungsfähigkeit des Wassers rasch ab, und das umsomehr, als es auf dem Wege bis zum Wassertropfen dem Luftzuge, der durch diese Bewegung entstand, ausgesetzt war. Wie stark die Abkühlung

der Flüssigkeiten ist, wenn sie auf einem Pinsel verdunsten, zeigt die Beobachtung, daß an ihm Aether, Chloroform und Schwefelkohlenstoff alsbald in weißen, immer dicker werdenden Vegetationen krystallisieren (S. 107), und das Quecksilber, das man in einen hinreichend großen Pinsel mit einer dieser Flüssigkeiten gebracht hat, steif wird und sich, während dieselbe gefroren ist, schneiden läßt. Beim Wassertropfen angekommen, wurde nun die Pinselspitze sofort von den Dämpfen überschüttet, die von jenem ausgehen und sich auf der kalten Oberfläche der Haare niederschlagen, mit der Säure vermischen und dieselbe, zumal an der Pinselspitze, sogleich erwärmen; sogleich, weil ja die Temperaturerhöhung bei der Vermischung von Wasser und Salpetersäure außerordentlich schnell erfolgt. Natürlich trugen zu der raschen Erwärmung des Pinsels auch meine Wärmestrahlen bei; indessen nicht sehr viel, da es in diesem Falle keinen wesentlichen Unterschied macht, ob man heiß oder kalt ist.

Ein gutes Bild von der Erwärmung einer kleinen Menge Salpetersäure mittelst allerdings an sich schon warmen Wasserdampfes kann nun sofort dadurch erzeugt werden, daß man einen auf das Objektglas gesetzten Tropfen dieser Flüssigkeit behaucht. Denn der in der ausgeatmeten Luft enthaltene Wasserdampf, der sich auf einem hinreichend kalten Gegenstande bekanntlich sogleich in Form von erst sehr feinen, dicht neben einander liegenden, bei verstärktem Hauchen wachsenden und dann mehr oder weniger zusammenfließenden Tröpfchen niederschlägt, kann dies rings um den Salpetersäuretropfen, falls seine Unterlage nicht außergewöhnlich kalt ist, durchaus nicht, weil es hier für seine Kondensation dadurch zu warm wurde, daß die Säure selber sich von dem Wasserdampfe, der sie traf, sofort zu stark erwärmte. Daher wird um den Säuretropfen bei etwas schiefer Beleuchtung ein dunkler Hof sichtbar, der nach innen hin überaus sanft und gleichmäßig „verläuft", wie die Metalle sagen, indem die in der weiteren Umgebung des Salpetersäuretropfens liegenden gewöhnlichen Hauchtröpfchen von einer gewissen, geringeren Entfernung an konzentrisch um jenen immer kleiner werden, bis sie allmählich ganz verschwinden und man nur einen leeren, nach außen so vollkommen verwaschenen Ring um ihn sieht (Fig. 45). Das ist also ein Wärmehof. Derselbe kann jedoch wieder nichts anderes als eine Elektrizitätsleistung sein (s. Kapitel 17); denn der von dem Hauche sich sofort erwärmende Säuretropfen wird dadurch auch sogleich elektrisch und zieht die Wassertröpfchen, wenn sie nicht durch wiederholtes und starkes Behauchen zu groß und zu schwer gemacht werden, so schnell an sich, daß man auch unter der Lupe nichts von ihnen zu sehen bekommt. Dagegen bringt die Behauchung eines Wassertropfens niemals einen Wärmehof hervor, und dies ist ein sehr einfacher Beweis dafür, daß Wasser sich viel schwerer als Salpetersäure erwärmt. Dennoch muß es durch den vom Pinsel herkommenden Salpetersäuredampf etwas wärmer werden, und das ist, wie sich bald zeigen wird, keineswegs unwichtig.

Soll aber — und das ist hier unumgänglich nötig — bewiesen werden, daß die Salpetersäure sich auch durch kalten Wasserdampf, wie ihn die gewöhnliche Luft enthält, erwärmt, so muß man zum Thermometer greifen.

Dasselbe wird (Fig. 45 Th) mittelst eines Fadens FF an den Querbalken eines möglichst hohen Statives derartig gehängt, daß man es beliebig hinaufziehen oder herablassen kann. Senkrecht darunter steht eine etwa 3 cm hohe offene Porzellanbüchse S halb angefüllt mit Salpetersäure; wenn nun beide sich nach dem Anfassen jener wieder völlig abgekühlt haben, so wird das Thermometer Th mittelst des am Tische befestigten Fadens FF hineingesenkt und, nachdem die Temperatur abgelesen worden ist, hoch hinaufgezogen. Sogleich bemerkt man, daß das Quecksilber steigt, und bei 15° Wärme und ungefähr 75% relativer Feuchtigkeit im Zimmer ist in zwei Minuten der höchste Stand mit 15,2° erreicht. Weit mehr jedoch, nämlich 0,7°—0,8°, beträgt die durch die Feuchtigkeit der Luft verursachte Temperatursteigerung wenn man statt der Salpetersäure Salzsäure nimmt; und in der That wird ein auf dem Objektträger liegender Wassertropfen von einem Salzsäuretropfen oder einem in Salzsäure getauchten Glasstäbchen u. dergl. viel heftiger als von der Salpetersäure angezogen, sodaß man, wenn damit noch unbekannt, darüber förmlich erschrickt und zur ruhigen Beobachtung des Vorganges die Salzsäure dem Wassertropfen anfangs gewöhnlich zu nahe bringt. Die Folge von der verschiedenen Erwärmbarkeit der Salpeter- und Salzsäure durch Wasserdampf ist es denn auch, daß ein in Wasser getauchter Pinsel zwar den nächsten Rand eines Salzsäure-, nicht aber jenen eines Salpetersäuretropfens anzuziehen vermag.



Fig. 45.

Diese Sache ist also diese: Die in einer dünnen konissen Schicht mit einem ihr anhängenden Tropfen der Luft ausgesetzte Salpeter- oder Salzsäure vermischt sich mit den Wasserdampfteilchen der letzteren, und die dabei entstehende Wärme macht die Lösung bis zu einem gewissen Punkte immer stärker elektrisch, sodaß nicht blos die nahe bei ihr, sondern auch die weiter und weiter von ihr entfernt schwebenden Wassertröpfchen angezogen werden. Allein schon durch die allererste Berührung der Säure mit den allernächsten Wasserteilchen wird Elektrizität erregt, da beide jedenfalls hinlänglich verschiedene Temperatur haben und sich beide verschiedengradig erwärmen. Darum ist bei der Lösung, wenn wir sie in so großen Maßstabe vor sich gehen lassen, daß sie unter der Lupe bez. unter dem Mikroskope beobachtet werden kann, allezeit heftige Anziehung und Abstoßung, und zwar mit der größten Sicherheit erkennbar (s. Kapitel 23 f). Schon die erste Spur von Elektrizität hat Erwärmung zur Folge; dank dieser wird aber die durch weitere Auflösung von Säure in den nächsten Wassertröpfchen entstehende Wärme und Elektrizität verstärkt u. s. f., bis die Lösung immer dünner wird, die Verdunstung und Verdunstungskälte die Oberhand bekommt und, wie man

aus der rasch fallenden Temperatur ersieht, Abkühlungselektrizität entsteht, so lange etwas von wässeriger Flüssigkeit auf dem Thermometer vorhanden ist. Wenn man den Versuch nun vollends mit Schwefelsäure macht, so erwärmt sich die an dem letzteren hängen gebliebene binnen einer Minute sogar um drei ganze Grade.

Da bei der nahen Gegenüberstellung von Salpetersäure und Wasser jene erheblich wärmer als dieses wird und wir wissen, daß die Elektrizitäten, die durch verschiedenartige Erwärmung entstehen, entgegengesetzte Zeichen haben oder in kurzer Frist bekommen, so müssen auch unsere beiden Flüssigkeiten entgegengesetzt elektrisch werden und einander um so leichter anziehen.

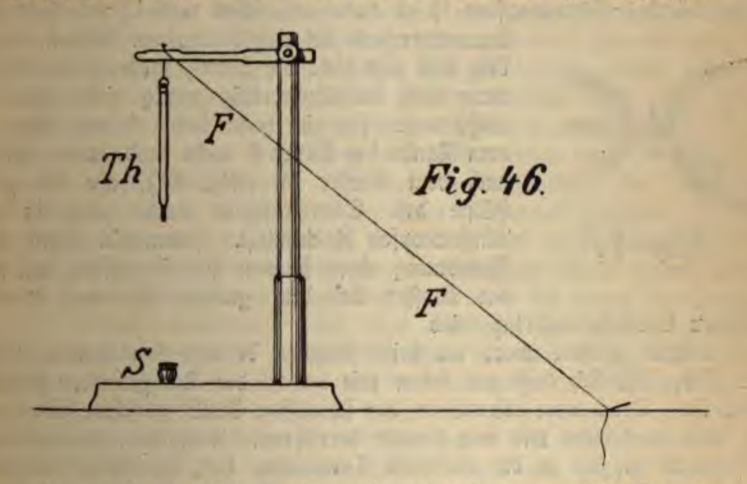


Fig. 46.

Hieraus folgt, daß der Salpetersäurepinsel sich zum Wassertropfen ganz ebenso verhält wie ein schwach positiver oder negativer Stab zu einem negativ bez. positiv geladenen Pendel: Das entgegengesetzt geladene Pendel wird bei einer relativ großen Entfernung angezogen und unter Umständen stark angezogen; das unelektrische Pendel aber rührt sich nicht oder kommt nur sehr wenig. Die ungeheure Kraft des — wir wollen bei dem hergebrachten Bilde bleiben und nicht sagen Druckes (S. 12), sondern des Zuges, der den schweren Wassertropfen wenigstens teilweise erst vom Glase losreißen muß — rührt also daher, daß nicht bloß die den Zug ausübende Masse positiv oder negativ, sondern daß zugleich die angezogene, wenn auch weniger stark, entgegengesetzt elektrisch wird. Daher entwickelt sich bei der gegebenen Anordnung von selber das Verhältnis eines den andern influenzierenden Körpers. Daß aber die so spielend leicht erfolgende Anziehung des Wassertropfens durchaus nicht als bloße Influenzwirkung aufzufassen ist, wird sich alsbald noch aus anderen Versuchen ergeben; denn die Heranbewegung bleibt aus, wenn der Wassertropfen durch die vom Pinsel ausgehenden Dämpfe darum nicht erwärmt werden kann, weil sie sich in ihm nicht lösen, sondern von ihm offenbar abgestoßen werden.

Berichtigung. Auf Seite 112 Zeile 1 muß es statt Fig. 45 heißen Fig. 46.

Hier darf nicht unerwähnt bleiben, daß der Versuch und zwar binnen einigen Sekunden (auf dem ein wenig erwärmten Instrumente) gelingt, wenn man zuerst den Salpetersäuretropfen auflegt und hierauf den Wassertropfen daneben setzt. Aber dann darf die Entfernung zwischen beiden nur sehr wenig, etwa nur $^1/_2$ mm betragen — wahrscheinlich weil der Säuretropfen über sein Wärmerwerden durch den von dem Experimentierenden ausgehenden und in der Luft an sich vorhandenen Wasserdampf bereits hinaus ist, wenn der Wassertropfen bez. der Pinsel mit Wasser herankommt und seine, weil er kalt ist, relativ geringen Dämpfe aussendet. Mit der stärksten Elektrizität des Säuretropfens ist es dann also schon vorbei, und sieht man dementsprechend bei wohlgelungenen Versuchen deutlich, daß jetzt nicht die Säure, sondern das Wasser, wenn auch verhältnismäßig wenig zieht; denn zunächst recken sich ein paar kleine dünne Arme a a vom Rande der Säure S mehr und mehr hinüber nach dem Wasser W (Fig. 47), ehe die ganze Hälfte des Säuretropfens nach- und in den Wassertropfen hineinstürzt. Immerhin liefert diese Anordnung einen schönen Beweis dafür, daß auch das Wasser bei dem ganzen, so oder so ausgeführten Versuche elektrisch wird.



Fig. 47.

Gerade hierbei aber, wo beide Tropfen W und S einander so sehr nahe sind, läßt sich recht gut sehen wie lebhaft der Dampfverkehr zwischen beiden ist. Denn man erkennt an der schmalsten Stelle zwischen beiden alsbald rasch wachsende, wie vom Hauche herrührende Tröpfchen, die nach dem Wasserrande zu, der ja die niedrigste Temperatur hat, an Größe bedeutend zunehmen. Sie reagieren alle sauer, wie die Probe mit einem sehr scharf zugespitzten Streifchen Lackmuspapier ergiebt, wenn die mütterlichen Tropfen weit genug von einander entfernt sind; und das erlaubt am meisten die Salzsäure. In der Luft trafen sich also anfangs primitive Wasser- und Säuredampftröpfchen, die sich durch wiederholtes Zusammenfließen mit alten und neuen vergrößerten; da aber die millionenmal größeren Massen W und S einander schließlich heftig anziehen, so liegt es auf der Hand, daß dies die kleinen, zuerst noch unsichtbaren Tröpfchen schon viel früher als jene gethan, den Luftraum zwischen W und S ebendadurch immer mehr erwärmt haben werden und, indem die einander zugekehrten, durch den Tröpfchenfall natürlich am meisten erwärmten seitens der Muttertropfen zunächst die kleinen Tochtertröpfchen alsbald anzogen, auch die Bedingungen für die gegenseitige Anziehung der großen Massen schufen.

Eine gute Probe auf die Richtigkeit der Erklärung unseres Wasser-Säure-Versuches würde nun darin bestehen, daß der Effekt nicht oder in nur sehr geringem Maße eintritt, wenn man die Verdunstung der beiden auf einander wirkenden Flüssigkeiten auf irgend eine Weise, aber ohne sie abzukühlen, hemmen könnte. Dies läßt sich durch ein Mittel bewerkstelligen, das im Großen mit dem wunderbarsten Erfolge angewandt wird, jedoch ohne daß wir noch sicher wissen wie es zustande kommt. Die Verdunstung einer

Flüssigkeit wird, wie allgemein bekannt, am einfachsten und besten durch Aufbringung einer Schicht von fettem Oele auf dieselbe erschwert. Ein solches fettes Oel liefern uns aber die Fingerspitzen und zwar zugleich in der für unseren Zweck notwendigen feinen Verteilung, wenn man z. B. den warmen Daumen auf das Objektglas drückt: Die auf demselben kleben bleibenden Oeltröpfchen, die etwa die Größe der roten Blutkörperchen, also ca. 0,005 mm Durchmesser haben, sind es, die uns den gewünschten Dienst leisten, wenn wir auf die vom Finger berührte, also fettig gemachte Stelle den Wasser- und den Säuretropfen in der gewöhnlichen Weise setzen; denn augenblicklich ist die Oberfläche von beiden mit so vielen von jenen Oeltröpfchen bedeckt, daß sie damit förmlich übersät erscheint. Jetzt aber kann man wer weiß wie lange warten, ehe die Anziehung erfolgt, und geschieht sie endlich, so ist sie nur gering, oder sie bleibt, wenn die beiden Tropfen nicht ganz außerordentlich nahe an einander liegen, d. h. ihr Zwischenraum kaum $^1/_4$ mm beträgt, vollkommen aus. Wie wenn man neben einen etwa 1 mm großen Oeltropfen einen Wassertropfen setzt und im Augenblicke der Berührung beider blitzschnell das Wasser sich mit einer so dünnen Oelschicht überzieht, daß die Regenbogenfarben erscheinen, so werden auch unsere Hautöltröpfchen, sowie sie auf den Wasser- und Säuretropfen unsichtbar schnell hinauf fliegen, Streifen von äußerst dünnen Oelausbreitungen nach sich ziehen, die sich unter einander vielfach verbinden; denn oben auf dem Flüssigkeitsberge ist die Mehrzahl der Fetttröpfchen abgerundet, unten auf dem Glase aber verzerrt und eckig. Wurde jedoch nur eine von den beiden Hauptflüssigkeiten auf die eingeölte Stelle des Glases gelegt, so findet eine ganz geringe Anziehung des Wassers durch die Säure nur dann statt, wenn das erstere nicht mit dem Oele in Berührung kam, also nur dicht *neben* den großen Fettfleck gesetzt ward.

Folglich ist bei der Elektrizitätsentwicklung im Wasser-Säure-Versuche *das Wasser die Hauptsache*: Sein Dampf muß die Säure aus großer Nähe und in Menge treffen, damit sie zunächst sich selber und ebendadurch auch in seiner unmittelbaren Umgebung die atmosphärischen Krystalle rasch hinreichend erwärme. Da nun *die empörte See*, auf welche oben angespielt wurde, sich durch Oel so wunderbar beruhigt, so muß man schließen, daß die Aufregung des Wassers zum großen Teile die Wirkung von Elektrizität war, die unter den gegebenen Umständen, wo Verdunstungskälte und Reibungswärme unausgesetzt und äußerst schnell mit einander abwechseln, zweifellos entsteht.

Umgekehrt rührt aber auch die so ungemein schnelle und großartige *Ausbreitung des Oeles auf Wasser* im Kleinen wie im Großen wahrscheinlich von Elektrizität her; deshalb wollen wir zu diesem die Molekularphysik nicht wenig beschäftigenden Kapitel gleich noch hinzufügen, was sich aus unserer Auffassung der merkwürdigen und noch nicht befriedigend erklärten Erscheinung fast ohne weiteres ergiebt.

Zunächst denkt man an die vollkommenste Art der Ausbreitung einer Flüssigkeit und fragt sich: Warum gehen denn von so vielen irgendwo ausgegossenen Flüssigkeiten überhaupt kleinste Teilchen in die sie umgebende Luft? Ueber einer Flüssigkeit ist die letztere, schon weil ihre spezifischen Wärmen mehr oder weniger verschieden sind, entweder wärmer oder kälter; in beiden Fällen suchen sich die Temperaturen auszugleichen, können aber niemals gleich werden, und so muß auf der Oberfläche der Flüssigkeit und in der Luft um sie herum zuerst Elektrizität verschiedener, und dann gleicher Art, mithin erst Anziehung, wodurch von der gegebenen Flüssigkeit kleine Teilchen in ähnlicher Weise abgerissen werden, wie wir dies bei a und a in Figur 47 wirklich sahen, und hierauf Abstoßung entstehen, sodaß die frei gewordenen Teilchen von der Flüssigkeit, der sie angehörten, selber fortgetrieben werden. Was sich im Raume nach allen Richtungen, vorzugsweise aber nach oben hin, wo die Temperatur sich am schnellsten ändert, ereignet, kann man also annähernd auch auf der Fläche beobachten; ein viel besseres Beispiel dafür bietet aber die so oft bewunderte Eigenschaft einiger sehr flüchtiger Flüssigkeiten auf einer glatten Fläche unter gewissen Umständen augenblicklich strahlenförmig breit zu fließen.

Die zentrifugale Ausbreitung, das Austreiben, läßt sich nämlich auf dem einfachen Objektträger unter dem Präpariermikroskope, und zwar besonders gut am Spiritus und Aether, sowie an den leicht flüssigen ätherischen Oelen und dem Erdöle beobachten; aber nur unter der Bedingung, daß die Temperatur des Zimmers ziemlich viel, d. h. 20° und mehr beträgt, und das Mikroskop samt dem Objektglase und der aufzulegenden Flüssigkeit ungefähr ebenso warm ist — Wärme bleibt die Conditio sine qua non.

Das Schauspiel beginnt beim gewöhnlichen Spiritus damit, daß aus dem Rande des aufgelegten Tropfens sogleich ringsum in annähernd gleichen Abständen je ein kleiner Tropfen herausschießt, der mit dem Muttertropfen mittelst eines mehr oder weniger lang und breit werdenden, immer aber strahlenförmig gestellten Stieles im Zusammenhange steht (Fig. 48 I und II). Dies ist gleichzeitig und an sehr vielen Punkten des Tropfenrandes dasselbe, was wir in Figur 47 nur an zwei Stellen, nämlich blos zwischen dem Wasser- und Säuretropfen bei a u. a in kleinerem Maßstabe, im Grunde aber unter ganz ähnlichen Bedingungen wie hier entstehen sahen: Der aufgelegte Spiritustropfen wurde, nachdem er sich auf dem Wege nach dem Objektträger durch Verdunstung schnell abgekühlt hatte, namentlich am Rande augenblicklich wärmer, das Glas darunter und rings

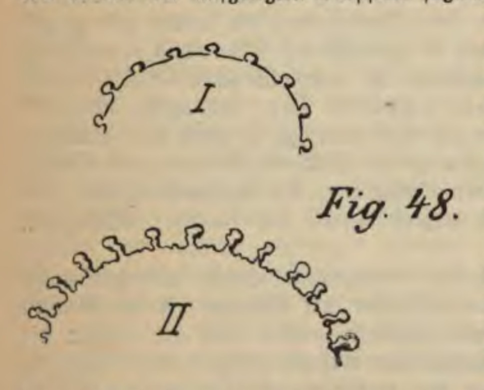


Fig. 48.

herum sofort kälter als zuvor, dann aber rasch wieder wärmer wie der Tropfen, weil die bedeckte Stelle des Glases Wärmezufluß von der weiteren Umgebung der Flüssigkeit bekommt. Mit diesen geschwinden Temperaturwechseln sind also die Bedingungen zur Entstehung beider Elektrizitäten gegeben; daher strömt nun die Flüssigkeit, und beim Aether schneller als man sehen kann, in die seichten Stiele der aus dem Rande des Muttertropfens herausgezogenen Tröpfchen nach, sodaß dieselben Zufuhr bekommen von kälterem Materiale, das sich von neuem erwärmt, während das Glas daselbst unverzüglich wieder kälter und, wie jedes der Tröpfchen, von neuem elektrisch wird; alsdann rücken die letzteren abermals ein Stück weiter hinaus, kommen gleichzeitig neue aus den noch ganzen Stücken des Randes heraus und hierauf wird dieser selber mit fort nach außen gerissen, bis der Vorrat von Flüssigkeit erschöpft ist und die Temperatur des Glases sich mit jener des flach werdenden und immer weniger und langsamer sich ausbreitenden Tropfens ausgeglichen hat. Was hier mit vielen Worten und leider nur so beschrieben werden konnte, als ob die ganze Bewegung merklich stoßweise vor sich ginge, geschieht in Wirklichkeit blitzschnell, ja scheinbar ununterbrochen. Wenn aber der Alkohol oder das ätherische Oel sowie das Objektglas und das Mikroskop kühl, d. h. höchstens 16° warm sind und der Experimentierende selber nicht viel Wärme ausstrahlt, so bleibt ein Tropfen von ihnen lange Zeit ebenso ruhig wie ein Wassertropfen, und nur wenn man heiß ist, springen alsbald an mehreren Stellen des Randes gestielte Tröpfchen hervor, die im Gegensatze zum Muttertropfen im Hauche keinen Wärmehof bekommen, also viel kälter sind wie jene.

Ferner: Behaucht man einen bei niedriger Temperatur ganz bleibenden Spiritustropfen 1. ein paar Male so wenig wie möglich, so zeigt er nichts weiter als einen Wärmehof, ist aber gerade dadurch schon elektrisch geworden; denn ein dicht neben den Alkoholtropfen Al (Fig. 49) hingesetzter Salpeter- oder Salzsäuretropfen S wird von ihm sofort abgestoßen, d. h. sein dem Al gegenüberliegendes Segment verschwindet augenblicklich, sodaß Sr auf der Stelle die dem a unten parallele Fläche ss bekommen hat; und diese fällt auch dadurch sehr auf, daß sie, wenn von neuem etwas Atem auf das Objektglas gelangt, schnell hin und her schwankt, als wenn sie wer weiß wie sehr angeblasen würde.

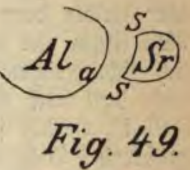


Fig. 49.

Jetzt sind also Säure und Spiritus gleichnamig elektrisch, und zwar dieser stärker als jene; die größere Stärke der Elektrizität des Spiritus rührt aber nur von seiner Behauchung her; denn wenn das nicht mit ihm geschieht, so zieht ihn, wie wir sehen werden, die Säure mächtig an. Wird nun ein verhältnißmäßig so großer Teil des aufgelegten Säuretropfens fortgedrückt, wieviel mehr werden die Tröpfchen des Spiritusdampfes jene des Säuredampfes fortstoßen! Endlich läßt sich, wenn man nämlich kalt und die Temperatur niedrig genug ist, d. h. höchstens 15° beträgt, beobachten, daß der Spiritustropfen, nachdem er den Säuretropfen einige Sekunden lang abgestoßen hat, plötzlich nach dem letzteren hin ausbricht, um sich mit ihm

unter heftigen Bewegungen zu vereinigen. Denn während der Zeit, wo man die Abstoßung der Säure beobachtete und beide Tropfen durch die namentlich vom Gesichte ausgehenden Strahlen erwärmte, erfuhr der schon vorher durch die Behauchung wärmer gewordene Spiritus eine so starke Temperaturerhöhung, daß seine Elektrizität ihr Zeichen wechselte, beide Tropfen also ungleichnamig elektrisch wurden und einander anzogen, wie wenn alles von Hause aus wärmer gewesen wäre. Behaucht man dagegen 2. einen bei niedriger Temperatur ganz bleibenden Spiritustropfen kräftig, so wird er sofort bei dem ersten Exspirium in derselben Weise nach allen Richtungen zerrissen, als wenn das Objektglas, schon bevor er aufgelegt wurde, warm ist. Was hier zieht, ist also die ganze unmittelbare Umgebung des Spiritustropfens, das Glas rings um ihn herum, das, wie wir oben sahen, ja schon bei schwächster Behauchung einen Wärmehof bekommt, als fester Körper wärmer und infolgedessen zunächst stärker elektrisch wird als das Innere der Flüssigkeit, in kürzester Zeit aber, eben dank seiner raschen Erwärmung das Zeichen wechselt.

Hieraus geht zur Evidenz hervor, daß alles von der gegebenen Temperatur und von den auf die eine oder andere Weise entstehenden Temperaturunterschieden abhängt.

Allein nachdem die zentrifugale Bewegung des Spiritus ihr Ende erreichte, tritt alsbald eine zentripetale auf, die zwar weniger schnell, aber dennoch sehr auffallend ist: Abgesehen von den verhältnismäßig großen Tropfen, womit die Verzweigungen der Flüssigkeit endigen, zieht mit einem male alles von ihr, was seicht geworden ist, wieder zurück, sammelt sich meist an mehreren, dem Zentrum des früheren Tropfens nahe gelegenen Orten, die dadurch also wieder bergartig hoch werden, oder im vollkommensten Falle, d. h. wenn die ganze Masse recht gleichmäßig verteilt war, an einem einzigen Platze, fast in der Mitte des ganzen Feldes. Warum aber bleiben denn die Flüssigkeitsreste, die schon zur Ruhe gekommen waren, nicht liegen und verdunsten nicht vollends an Ort und Stelle. Sie hatten sich nicht gleichmäßig ausgebreitet, sondern sie sind uneben; hier hügelartig hoch, dort flach oder gar muldenförmig vertieft, und wo das letztere der Fall ist, entsteht plötzlich ein sich rasch bis an die hügelige Umgebung vergrößerndes Loch, während die Ränder gleichzeitig überall, wo sie flach genug sind, sich an die nächsten Berge zurückziehen, die letzteren also erhöhen. Das Seichte, die Ränder und Vertiefungen kühlten sich aber viel schneller ab als das Hohe; folglich entstand auf einem gewissen Punkte, der natürlich immer noch, wenn auch langsam fortschreitenden Verdunstung ein so starker Temperaturgegensatz, daß die Bedingungen für zweierlei Abkühlungselektrizität, für Positivität und Negativität gegeben waren und, wie immer, die leichteren und schwächer elektrischen Massen von den schwereren und stärker elektrischen angezogen wurden.

Das am Rande Strahlenförmige der Ausbreitung gewisser Tropfen auf dem Objektträger läßt sich beim Terpentinöle auch sehr gut rückwärts bis zum Zentrum, nämlich dadurch verfolgen, daß man den Tropfen behaucht. Denn die Millionen kleinster Wassertröpfchen, die sich auf dem

letzteren, weil Terpentinöl im Wasser nur sehr wenig löslich ist, niederschlagen und ihn im halben Dunkelfelde mehr oder weniger weiß erscheinen lassen, ziehen, unzählige Radien bildend, gegen den mit verhältnismäßig sehr großen und breitgestielten Ausläufern besetzten Rand hin und bewegen sich bei jedem neuen Exspirium, also bei jeder neuen Erwärmung, eins hinter dem andern sogleich viel schneller nach außen fort. Den besten Gesamteindruck von diesem schönen Gebilde bekommt man natürlich, wenn die Vergrößerung so schwach ist, daß der ganze Terpentinöltropfen und zwar lange im Gesichtsfelde bleibt; um aber genau zu sehen, was am Rande vor sich geht, muß man wenigstens die 15-fache Vergrößerung, ja unter Umständen das Kompositum zuhilfenehmen. Und dann zeigt sich, daß auch hier fortwährend äußerst feine Hauchtröpfchen hinauseilen und überall in den Ausläufern und deren Wurzeln, solange sich der Tropfen noch weiter ausbreitet, fortwährend lebhaft wirbeln. Wirbel aber sind, das werden wir später beweisen und noch viele male besser sehen, die Wirkung elektrischer Kreisströme.

Aehnlich wie auf dem Objektträger wird auch die Ausbreitung gewisser Tropfen auf dem Wasser vor sich gehen. Bei der Berührung der beiden verschiedenen Flüssigkeiten entstehen infolge ihrer verschiedenen Erwärmungs- und Abkühlungsfähigkeit beide Elektrizitäten, und tritt nun, da die beiderseitigen Temperaturen, solange etwas, das sich ausbreiten kann, vorhanden ist, fortwährend andere werden müssen, in äußerst schneller Aufeinanderfolge eine große Reihe von Zeichenwechseln auf, von denen die ersten beiden in Figur 50 A und B thunlichst entwickelt wurden. Allein der Ring aa der Wasseroberfläche um den Oeltropfen Ö wird von dessen Rande r auch influenziert, sodaß die ursprüngliche Elektrizität des Wassers sich noch verstärkt. Denn da die spezifische Wärme des Oeles kleiner ist als die des Wassers, so wird es beim Umgange damit auch wärmer als das Wasser, bei der Berührung mit letzterem aber kälter als dieses sich an jenem erwärmt, mithin stärker elektrisch werden als das Wasser und so die Elektrizität des letzteren mittelst Influenz mehr verstärken als die Elektrizität des Oeles durch Influenz von seiten des Wassers an Stärke zunimmt. Ist nun der Wasserring a z. B. positiv elektrisch, so zieht er aus dem negativen, schon seiner Natur nach sehr dünn endigenden Rande des Oeltropfens sofort einen Oelring heraus, der so dünn ist, daß er in den Regenbogenfarben glänzt. Dieser Oelring muß aber auf dem positiven Wasser a positiv, mithin soweit ihn r nicht festhält, von a abgestoßen, also zentrifugal fortbewegt werden. Daher hat sich der Oeltropfen am Ende des ersten Stadiums seiner Ausbreitung, wie Fig. 50 B zeigt, schon etwas abgeflacht und reicht allseitig bereits bis zu 1 1. Der Wasserring b, der nunmehr den positiv gewordenen Rand des Oeltropfens umgiebt, wird von diesem wieder influenziert, also negativ gemacht und zieht infolgedessen einen neuen Oelring hervor. Nachdem dieser nun auf denn negativen Wasser negativ geworden ist, muß er wie der erste Oelring von seiner gleichnamig elektrischen Unterlage, soweit ihn 1 nicht fest hält, abgestoßen werden, sodaß sich der Tropfen abermals verflacht und ringsum weiter ausbreitet. In dieser Weise geht es fort, bis aus dem

Tropfen nur eine ganz dünne Schicht Oel geworden ist, die nicht mehr kälter werden und das Wasser nicht weiter erwärmen, also keine Elektrizität mehr erregen und selber nicht weiter ausgezogen werden kann. Daraus aber, daß jedem Zuge, den die Umgebung des auf das Wasser gelegten Oeltropfens auf dessen Rand ausübt, noch ein Stoß folgt, erklärt sich auch die außerordentliche Geschwindigkeit des ganzen Vorganges, die fast ebenso sehr auffällt wie die Farbenpracht.

Wie das Wasser von dem Oele immer ein Teilchen nach dem andern abreißt und dabei die zuerst abgerissenen am weitesten fortbewegt, kann man

Fig. 50. A, B

schon bei der Berührung eines gewöhnlichen, auf das Objektglas gelegten Wassertropfens durch den Rand eines daneben gesetzten Tropfens fetten Oeles unter der Lupe sehen: Sobald einer den andern mit oder ohne Nachhilfe mittelst der Nadel erreicht, ist auch schon die dem Oele zugewandte Hälfte des Wasserberges mit Oeltröpfchen überzogen — blitzschnell geschieht diese Ausbreitung wie eine jede der von den sog. Molekularkräften hervorgebrachten Leistungen, und verrät die so ungeheure Geschwindigkeit allein schon, daß die bewegende Kraft nichts anderes als Elektrizität sein kann. Die am weitesten fortgezogenen und fortgestoßenen Teilchen, die man noch erkennen kann, haben nur die Größe von 0,1 u, also von einem Zehntel des tausendsten Teiles eines Millimeters, und liegen in Unzahl ganz dicht nebeneinander; aber je näher ihrem Muttertropfen um so größer und weniger zahlreich werden die Tröpfchen (Fig. 51), und müssen wir auf feinere Weise dahinter zu



Fig. 51.

kommen suchen, warum die zuletzt gelösten Tröpfchen so auffallend, nämlich bis 0,1 mm groß sind.

Ich nehme ein Ringglas, d. i. eine Vorrichtung, die zur Herstellung einer feuchten Kammer gebraucht wird, bei Carl Zeiß in Jena vorrätig ist und aus nichts weiter als aus einem Objektträger mit aufgekittetem Glaszylinder besteht, der nur 2 mm hoch, aber 10 mm weit, also ein Ring ist (Fig. 52), fülle das so niedrige Gefäß mit Wasser und schleudere es wieder aus. Dabei bleibt das Wasser WW nur noch in dem Winkel zwischen der senkrechten Wand und dem Boden des kleinen Hohlraumes, sodaß dieser sogleich größtenteils trocken wird. In den so hergestellten Wasserring setze ich bei halber Beleuchtung nicht fern von seinem schief aufsteigenden Rande mittelst eines feinen Grashalmes oder dergl. einen höchstens 1 mm großen Knochenöltropfen l, ziehe von ihm mit der feinsten, so senkrecht wie möglich gehaltenen Nähnadel einen Arm heraus, führe ihn, wenn er nur noch etwa $^1/_{10}$ mm breit ist, so dicht an den Rand des Wassers, daß er dieses nur ein ganz klein wenig berührt, and augenblicklich entwickelt sich dasselbe Bild, das Figur 51 dargestellt, nur daß die feinen Tröpfchen sich, ehe man es vermutet, über den ganzen Wasserring verteilt haben. Bisweilen sieht man aber, und zwar wenn der mit der Hand herausgezogene Oelarm weder zu kurz oder dick, noch zu lang und dünn ausfiel, also wenn er nicht auf ein mal zu viel hergiebt, jedoch auch nicht zu bald versiegt, etwas höchst Merkwürdiges, nämlich daß sein Ende f (Fig. 53) unmittelbar nach der ersten Berührung des Wassers Wr eine Spur zurückweicht, dann wieder das letztere berührt, abermals sich von ihm ein Minimum entfernt u. s. f. noch mehrere male und außerordentlich schnell hinter einander, während sich der Wasserring Wr mit Oeltröpfchen überzieht. Aehnlich wie wenn man aus einem Fläschchen ein paar Tropfen irgendwohin träufeln will und so stark neigt, daß unzählig viele hinter einander herauskommen, sieht es aus, wenn das schmale Oelzüngelchen f von dem Wasserrande Wr in der Sekunde wohl mehr als fünfmal ganz von selber angezogen und abgestoßen wird, ihm jedesmal etwas Oel entreißend. Hier wechselt also immer Anziehung und Abstoßung, die vom Wasser auf das Oel ausgeübt werden, ab, und läßt sich



Fig. 52.

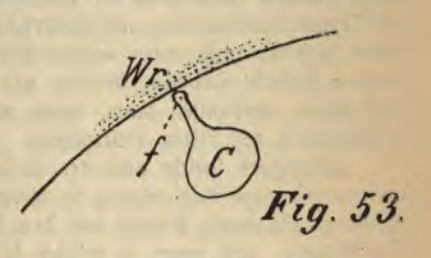


Fig. 53.

dasselbe manchmal auch unter anderen Umständen beobachten, nämlich wenn man, um die Lösung zu studieren, neben einen Wassertropfen auf einem einfachen Objektträger in der Kälte einen Spiritustropfen setzt und aus diesem einen Arm bis zum Wasser leitet. So gelingt es also dann und wann die ersten von den Zeichenwechseln, die wir oben als die Ursache der Ausbreitung des Oeles auf dem Wasser hinstellten, in Form von ungemein schnell wechselnder Anziehung und Abstoßung wirklich zu Gesichte zu bekommen, und die wiederholte Trennung des Oeles von dem Wasser geschieht offenbar da, wo am Rande des Oeltropfens auf Figur 50 A und B neben einander zwei gleiche Zeichen stehen.

Beim Oel-Wasser-Versuche in dem fast ganz entleerten Ringglase erkennt man aber auch auf das Bestimmteste, daß die zuerst und weit hinauf und rechts und links auf dem Wasser hin fliegenden Oeltröpfchen stets sehr klein, und die vom Muttertropfen zuletzt abgerissenen die größten sind und immer verhältnismäßig langsam fortgehen. Das hat aber einen ganz eigentümlichen Grund: Wenn die sich auf dem Wasser ausbreitenden Oeltröpfchen größer und größer werden, hat sich dasselbe bereits fast überall mit allerkleinsten Oelteilchen bedeckt. Nun wissen wir (S. 115), daß ein so veränderter Wassertropfen keine oder nur noch sehr wenig Anziehungskraft äußert; folglich wird das, was unser Wasserring vom Oele noch losbekommen kann, so langsam aufwärts gehen, daß die Teilchen sogleich zusammenfließen und als große, mehr oder weniger breite Fetttropfen sichtbar werden, bis die Anziehungskraft, die Elektrizität des Wassers, dem Oele gegenüber so schwach wird, daß ihr Effekt nichts weiter ist als die gemeine Adhäsion. Dies wird auch dadurch bewiesen, daß ein zweiter Tropfen fetten Oeles, den man auf dasselbe, irgendwo ausgegossene Wasser legt, nicht zerfließt, sich nicht wieder so dünn und weit wie der erste auszubreiten vermag, ja in der Regel gar nicht austreibt. Denn je mehr Oeltröpfchen schon auf dem Wasser liegen umso geringer fällt auch bei einem neuerdings darauf gesetzten Oeltropfen die Temperaturänderung und Elektrizitätsentwickelung aus, weil dieser an sehr vielen Punkten nicht einen andern Stoff mit einer andern spezifischen Wärme, sondern dieselbe Substanz berührt und die Temperatur des Wassers, das nur noch wenig verdunsten kann, lange nicht mehr so niedrig liegt wie vor der Aufbringung des ersten Oeltropfens.

Uebrigens spricht noch der Umstand sehr zu Gunsten unserer Auffassung der zentrifugalen Ausbreitung so vieler Flüssigkeiten, daß sie auf einem durch Reibung (ein wenig Putzen) mit dem Pendel nachweisbar elektrisch gemachten Objektträger, auch wenn er wieder kalt geworden ist, augenblicklich und sehr heftig erfolgt. Sehen wir also an schönen Frühlingstagen, daß der balsamische Saft, den abgebrochene Maitriebe von Kiefern entlassen, sich auf dem stillen Weiher, Alt und Jung erfreuend, ausbreitet, so wird die im Sonnenscheine erwärmte Wasserfläche mehr als sonst elektrisch geworden sein und Elektrizität mit dem Balsam, der sie ja noch leichter als jene annimmt, ihr buntfarbiges Spiel treiben.

Wenden wir uns nach diesen Auseinandersetzungen, die, weil sie eine schon zu Anfange dieses Kapitels fühlbare Lücke ausfüllen sollten, so bald wie möglich gebracht werden mußten und ihres inneren Zusammenhanges wegen an keinem Punkte schroff abgebrochen werden konnten, wieder zurück zu unseren Grundversuchen mit zwei verschiedenen, einander genäherten Flüssigkeiten, so müssen wir die oben bereits angeschnittene Frage weiter verfolgen: Wie verhält sich bei seiner Gegenüberstellung eine von jenen flüchtigen Säuren, die das Wasser, wie wir sahen, so kräftig anziehen, also vor allem die Salpeter- und die Salzsäure, zu einer noch flüchtigeren Flüssigkeit, deren Vermischung mit ihnen eine sehr viel stärkere Erwärmung hervorbringt als die Vermischung dieser Säuren mit Wasser?

Obenan steht in dieser Hinsicht der Weingeist, weil er nicht allzu schnell verfliegt, und mit Salpetersäure vermischt in wenigen Sekunden die Temperatur um 3°, mit Salzsäure aber in derselben Zeit sogar um 7° erhöht, und man seinen Geruch beliebig lange aushalten kann. Indessen zeigen auch die ätherischen Oele sowie das Erdöl das Phänomen, und zwar in einer alle Erwartungen übertreffenden Weise; denn der Spiritus und z. B. das Terpentinöl werden von den beiden Säuren noch viel mehr, d. h. aus viel größerer Entfernung als das Wasser, und in der Nähe mit ungeheurer Kraft angezogen, so daß der Effekt geradezu in Erstaunen setzt.

Auf das nur etwa 16° warme Objektglas wird ein Tropfen Spiritus, der in seinem Behälter dieselbe Temperatur hat, gesetzt und ihm vorsichtig der mit Salpetersäure getränkte Pinsel, welcher, wenn er zu viel faßte, ein paarmal auf Fließpapier ausgestrichen wurde, bis auf ungefähr 5 mm genähert: Nach kaum einer Sekunde stürzt diesem die ihm zugewandte Hälfte der Flüssigkeit als Ganzes entgegen, und wenn man statt Salpetersäure Salzsäure nimmt, so erfolgt diese Anziehung augenblicklich. Dann aber, d. h. kaum eine halbe Sekunde später, schießen aus der angezogenen Masse, und zwar zunächst an deren äußerstem Ende, gleich darauf jedoch auch an sehr vielen Stellen kleine Tröpfchen heraus, die einen mehr oder weniger langen und dünnen seichten Flüssigkeitsstrang hinter sich herziehen und selber noch ein- oder zweimal den eben beschriebenen Vorgang kürzester Frist wiederholen, bis, wie beim einfachen Spiritustropfen auf warmer Unterlage, kein oder fast kein Weingeist mehr da ist, der in die verschiedenen Aeste und Zweige, die bleibend mit Tröpfchen endigen, nachrücken könnte. Fig. 54, 1 2. 3. Auf diese Weise läßt sich der aufgegossene Spiritustropfen in ein



Fig. 54.

nahe kam, ein wenig anzuziehen, wenn nämlich das Mikroskop auf 32—36° erwärmt wurde. Bei solcher Wärme verdunstet also der Wassertropfen sehr lebhaft und erwärmt durch seinen Dampf den obigen Rückstand, der durch seinen eigenen Dampf bei jenem dasselbe thut.

Schließlich ist noch zu betonen, daß der Wassertropfen von den Flüssigkeiten, die ihn anzuziehen überhaupt fähig sind, viel stärker angezogen wird, wenn sie vor ihrer Einwirkung auf jenen erwärmt werden, weil diese Beobachtung beweist, daß unser Grundversuch richtig erklärt worden ist. Und über das Verhalten des für unsern Zweck so überaus bequemen Alkohols zum Wasser werden wir schon Seite 134 mehr erfahren.

Kapitel XVI.

Die nun folgenden Versuche gehören zu den lehrreichsten auf dem Gebiete der experimentellen Mikroelektrik überhaupt. Denn sie führen den im Vorhergehenden begonnenen und für die Molekularphysik so dringend notwendigen Beweis zu Ende, daß die über alles wichtigen Gesetze der Anziehung und Abstoßung, die im Großen herrschen, auch im Kleinen, nämlich bis zur Grenze des unter dem Präpariermikroskope bequem Sichtbaren (bis zu Körperchen von ungefähr $^1/_{1000}$ mm Durchmesser) gelten, und daß diese Bewegungserscheinungen, die man gewissen, nicht näher untersuchten Naturkräften zuschrieb, auch hier dieselben Ursachen und denselben Verlauf wie in der Makroelektrik haben.

Ein Tropfen wird erst angezogen und dann abgestoßen. Elektrische Verdunstung. Lockerung des Zusammenhanges durch Elektrisierung. Elektrischer Zerfall.

Seite 123 sahen wir, daß die Salpetersäure den Alkohol unter gewöhnlichen Verhältnissen mächtig anzieht. Jetzt kehren wir den Versuch um, nehmen den S p i r i t u s auf den P i n s e l, nähern ihn vorsichtig dem auf ein 15—17° warmes Objektglas gelegten 1—2 mm großen S ä u r e t r o p f e n von der Seite her bis auf eine Entfernung von 1—1$^1/_2$ mm, und nun kommt die dem Pinsel zugewandte Hälfte desselben auf den letzteren zwar verhältnismäßig langsam und wenig, aber ganz entschieden zu und legt oft mehr als $^1/_2$ mm zurück (Fig. 56 A). Wird aber der Spirituspinsel dem Säuretropfen von oben her genähert, so breitet er sich (Fig. 56 C) gleichzeitig etwas, hier mehr dort weniger, aus, und zwar schon, wenn der erstere von ihm viel weiter, vielleicht noch 2—3 mm, entfernt ist — offenbar weil die Säure jetzt ziemlich überall und nicht blos auf der einen Seite von den

sie erwärmenden Spiritusdämpfen getroffen wird; denn ähnlich fährt ja ein Tropfen fast einer jeden Flüssigkeit auseinander, wenn man bei seiner Beobachtung sehr heiß ist oder ihn gar behaucht, weil sein Rand unter diesen Umständen, wie Seite 117 erörtert wurde, von seiner sich stärker erwärmenden Umgebung ringsum angezogen wird. Nachdem man nun den Pinsel so, wie in Figur 56 A, 1—2 Sekunden gehalten hat, weicht der Teil des Tropfens, welcher soeben angezogen ward, plötzlich und ohne daß ihm jener mehr genähert wurde, bis zu der Linie 1 1′ (Fig. 56 B), zurück, und wenn man ihr mit dem Pinsel nachfolgt, so wird der fortgestoßene Teil immer mehr, also zunächst etwa bis zur Linie 2 2′, und schließlich bis zu 3 3′ von unsichtbarer Gewalt in das Ganze, das sich dadurch stärker wölbt, hineingedrückt.

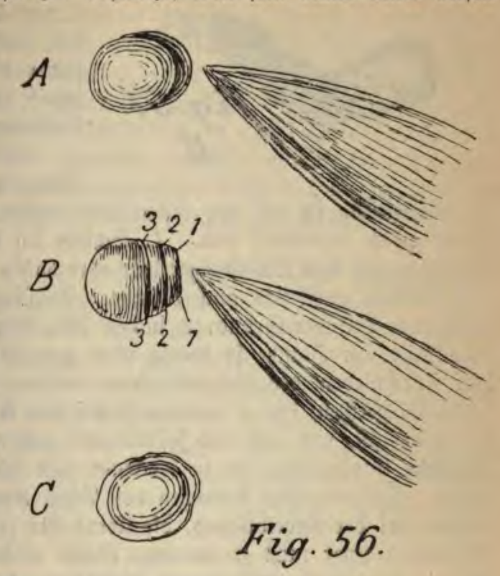


Fig. 56.

Versucht man aber durch weitere Annäherung des Pinsels an die scheinbare Sehne 3 3′ noch mehr Masse fortzudrängen, so geschieht, was man nicht für möglich halten sollte: Der ganze Tropfen rutscht fort, läßt sich, seine ungefähr halbmondförmige Gestalt behaltend, überall hin, zumal wenn man an der einen oder anderen Ecke nachhilft und das Thermometer wenigstens 16° zeigt, wie ein geladenes Pendel von dem gleichnamig elektrischen Stabe treiben, ohne daß das kleinste Teilchen von dem ganzen Tropfen auf dem Glase liegen bleibt. Entfernt man nun den Spirituspinsel von dem mehr oder weniger weit fortgedrängten Salpetersäuretropfen, so rutscht seine am meisten zusammengedrückte Hälfte H (Fig. 57 I) auf demselben Wege, den er von A her gekommen war, wieder etwas zurück, jedoch wenn zugleich der Atem zugelassen wird, nicht als Ganzes, sondern als ein sich vielfach verzweigendes Netzwerk, und erscheint im Dunkelfelde und bei geeigneter Haltung des Kopfes die Merkwürdigkeit, daß die Tropfenbahn, soweit sie nicht von der zurückgeflossenen Säure bedeckt wird, von dem ersten oder noch immer zugelassenen Hauche entweder garnicht beschlägt und infolgedessen



Fig. 57 I

schwarz ist, oder nur äußerst zart bethaut und grauschwärzlich aussieht, während die stark beschlagene Umgebung von ihren großen Hauchtropfen fast weiß glänzt (Fig. 57 II). Hierzu kommt noch die weitere Eigentümlichkeit, daß die Tropfenbahn sich von seiner bethauten Nachbarschaft überaus scharf abgrenzt und trotz wiederholter Behauchung auch so bleibt.



Fig. 57.

Wir haben es hier mit zwei Phänomenen zu thun, und beide werden, so unbedeutend sie auf den ersten Blick erscheinen, jedem Freunde der Mikrophysik gleich interessant sein. 1. Schiebe ich den Säuretropfen, ohne ihn zu berühren, auf dem Objektträger hier oder dahin fort, so verursache ich Reibung und dadurch zweifellos auch Wärme. Folglich wird hierin jedenfalls wenigstens zum Teil der Grund zu suchen sein, daß die Bahn, welche der Tropfen zurücklegte, im Hauche so wenig oder garnicht beschlug. 2. Gleichzeitig mit dem Fortschieben des Säuretropfens werden aber auch die kleinen unsichtbaren Körperchen, die er unterwegs auf dem Glase antrifft, mit fortgenommen bez aufgelöst, und das sind ja, wie wir wissen, größtenteils minutiöse atmosphärische Globuliten, die in trockener Luft überall und unausgesetzt niedergehen. Da nun diese Körnchen von Gips, Kochsalz u. dergl., wie die Staubteilchen bei der Nebelbildung, die Kerne für je ein Wassertröpfchen, das beim Behauchen einer nicht zu warmen Fläche entsteht, abgeben, so fehlt hier, wo auf die so äußerst vollkommene Reinigung des Glases unmittelbar die Behauchung folgen kann, eine der Hauptbedingungen für den Tröpfchenniederschlag. Daher bleibt die Bahn, welche unser Salpetersäuretropfen zurücklegte, bei der Behauchung anfangs leer, bekommt jedoch schon nach 15—30 Sekunden einen, wenn auch stets dünneren Reif als die Umgebung. Demnach läßt sich angesichts des unter den beschriebenen Umständen im Hauche anfangs mangelnden, nach schon einer halben Minute aber wieder erscheinenden und danach immer stärker werdenden Niederschlages umgekehrt auch auf die Abwesenheit bez. Wiederankunft der atmosphärischen Globuliten schließen, worauf in der Einleitung Seite 5/6 hingewiesen wurde. Denn der Beschlag der Tropfenbahn liefert alsbald so gut wie seine Nachbarschaft von vorn herein die dort angegebenen Reaktionen.

Während der Salpetersäuretropfen auf dem Objektträger durch den sehr genäherten Spirituspinsel in Bewegung gesetzt wurde, war aber nicht blos der Weg, den der erstere bestrich, sondern auch er selber wärmer geworden als unmittelbar vorher, wo er nur wenig bewegt, eben nur etwas angezogen und bei weitem nicht so lange dem Spiritusdampfe ausgesetzt wurde. Daß diese fortschreitende, nicht unbeträchtliche Erwärmung jedoch wirklich die Ursache der ersten Elektrisierung des Säuretropfens, zufolge deren er angezogen ward, ist, und eine wesentliche Steigerung seiner Temperatur die Ursache seiner Abstoßung sein muß, läßt sich auch durch einen sehr einfachen Versuch darthun: Erwärmt man nämlich das Objektglas über der Flamme oder sonst wie, und legt nun einen Salpetersäuretropfen auf, so wird er vom Spiritus

durchaus nicht angezogen, sondern, wenn die Erwärmung des Glases hinreichend groß war, sogleich fortgestoßen.

Daher sehen wir wieder (s. Seite 95), daß die Influenzelektrizität erster Art die Folge eines gewissen Grades von plötzlicher Erwärmung ist, und daß die bekannte Erscheinung (siehe Seite 83), wonach der influenzierte Gegenstand bei größerer Annäherung bez. längerer Einwirkung der Elektrizitätsquelle mit dieser gleichnamig elektrisch wird — auch unser Pendel stößt ein stark geriebener Glas- oder Harzstab, nachdem es von ihm ein paar oder mehrere Sekunden aufs äußerste angezogen worden ist, plötzlich ab — auf die stärker gewordene und noch immer zunehmende Erwärmung zurückzuführen ist.

Die Salz-, Essig- und Ameisensäure werden vom Spiritus oder Schwefeläther gleichfalls erst angezogen und dann abgestoßen; dagegen sehen wir bei der Einwirkung des in Ammoniakflüssigkeit getauchten Pinsels auf alle diese Säuren nur Anziehung, wahrscheinlich weil bei ihrer Vermischung mit den Ammoniakdämpfen die Wärmeentwicklung sogleich zu groß ist und zu stürmisch erfolgt, sodaß wie bei der gemeinen Reibung (siehe Seite 78), der beobachteten schon eine Menge tieferer Elektrizitätsstufen voraufgingen, die, weil sie der rapiden Temperatursteigerung entsprechend sehr schnell aufeinanderfolgten, sich unserer Beobachtung entzogen. Und daß schon, wenn jede von den beiden einander entgegengesetzten Elektrizitäten nur ein Mal, z. B. nur + −, oder wenn nur + − + entsteht, die erste Positivität nicht wahrgenommen werden kann, sobald die von ihr bewirkte Anziehung nicht so lange Zeit dauert als das Auge nötig hat, um eine schnelle Bewegung zu erfassen, zeigt der folgende, ganz und gar hierher gehörige Versuch, der abermals beweist, daß die gleichnamige Elektrisierung durch sehr große Annäherung an die Elektrizitätsquelle auch im Kleinen ebenso vor sich geht wie im Großen.

Neben einen auf das ca. 16° warme Objektglas gelegten Spiritustropfen, der an 3 mm Querdurchmesser hat und ganz oder doch ziemlich ganz bleibt, wird unter der 15fachen Lupenvergrößerung ein kleinerer, $^1/_2$—$1^1/_2$ mm großer Salzsäuretropfen gesetzt, jedoch nicht so nahe, daß jener augenblicklich angezogen wird und mit seinen Fortsätzen schneller als man sehen kann in ihn hineinstürzt, sondern so, daß die Entfernung beider Tropfen von einander gegen 3 mm beträgt, und die Spiritusäste sich verhältnismäßig langsam entwickeln. Ist dies der Fall, so bemerkt man zunächst, daß der dem hervorwachsenden Spiritusbaume gegenüber liegende Teil des Salzsäuretropfens demselben, zwar verhältnismäßig langsam, aber ganz deutlich entgegenkommt (Fig. 58 A). Die Anziehung ist also auch hier, wie jene zwischen zwei sehr viel größeren Körpern, eine gegenseitige. Aber kaum, daß man diese doppelte Bewegung wahrgenommen hat, sind auch die immer länger gewordenen Spiritusauswüchse dem Säuretropfen auf $^1/_{10}$ bis $^2/_{10}$ mm nahe gekommen, und nun flieht derselbe vor jenen, indem er sich 1—2 Sekunden lang in der gleichen Entfernung von seinen Verfolgern hält und, wenn er nicht zu groß ist, oft mehrere Zehntelmilli-

meter als Ganzes vor ihnen dahinrollt, nicht aber ohne den bekannten Eindruck s s (Fig. 58 B), der unwiderleglich beweist, daß hier ein Druck, ein Stoß ausgeübt wird. Während also die Säuredämpfe den Spiritustropfen samt seiner unmittelbaren Umgebung so sehr erwärmten, daß er elektrisch wurde, war der Säuretropfen durch die Spiritusdämpfe vorerst nur soweit warm geworden, daß seine Elektrizität eine Stufe tiefer lag als die des Spiritusbaumes; nachdem sich letzterer der Säure aber immer mehr genähert und sie dadurch rasch viel wärmer gemacht hatte, erhob sich ihre Elektrizität auf die Stufe jener des Spiritus: Daher wurden die beiden Flüssigkeiten, die erst ungleichnamig elektrisch gewesen waren, rasch gleichnamig. Schließlich erreichen die Endtröpfchen einiger Spirituszweige die Fläche ss, und sofort gleiten daselbst die Flüssigkeiten mittelst mehr oder weniger heftiger Wirbel ineinander, es schnellt der Spiritus in die Säure, eine entsprechend große Menge Säure in den Spiritus, und indem an diesen Stellen von beiden Seiten her immer mehr Flüssigkeit nachströmt, während anderwärts sich derselbe Vorgang mehrfach wiederholt, kommt alles zur Ruhe; dann ist — eine Art von Lösung und unzweifelhaft durch Elektrizität zustande gekommen. Indessen sollte vorläufig nur gezeigt werden, daß auch das soeben geschilderte und in praxi so häufig vorkommende Ineinanderfließen der beiden Flüssigkeiten , wenn sie einander sehr nahe sind, auf gegenseitiger Anziehung beruht, daß also einer von den beiden gleichnamig gewordenen Stoffen sein Zeichen gewechselt hat; und da die Säure sich von Wasserdämpfen, die bei unserem Versuche und bei der Verdampfung des Spiritus ja wesentlich in Betracht kommen, viel leichter erwärmt als der Spiritus (was man schon daraus erkennen kann, daß das Thermometer in ausgegossener Salz- oder Salpetersäure sofort steigt, in Spiritus aber nicht), so wird es die Säure sein, welche ihr Zeichen nochmals wechselt, bevor beide Flüssigkeiten sich vereinigen. Diese Vereinigung kann man aber nur unter der Bedingung deutlich wahrnehmen, daß die Spiritusarme nicht mehr rasch, sondern bloß noch langsam gegen die vor ihnen fliehende Säure vordringen, was wiederum

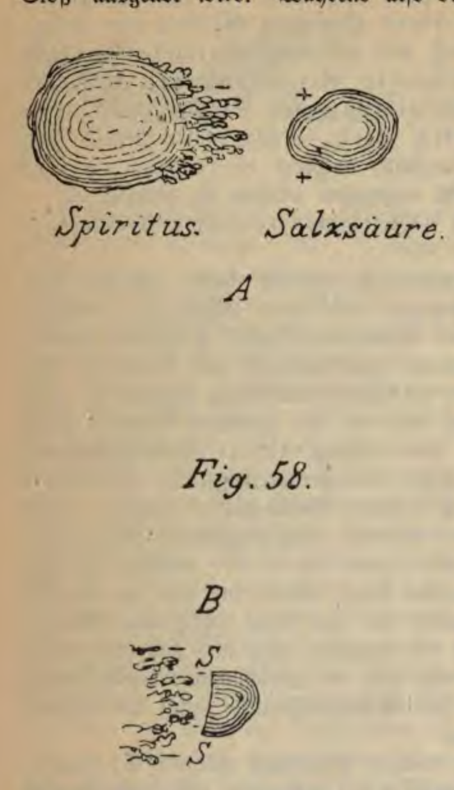


Fig. 58.

nur dann geschieht, wenn man die letztere nicht zu nahe an den Spiritus setzte. Nun wissen wir, daß der auf Watte oder auf andern feinen Haaren, also auch der auf dem Pinsel verdunstende und sich wieder erwärmende Spiritus (siehe Seite 107). positiv ist. Da aber der Spirituspinsel, wie nachgeholt werden muß, imstande ist, die Aeste eines auf einem etwas erwärmten Objektglase scheinbar von selber zerfließenden Spiritustropfens weiter aus-, also anzuziehen, so können dieselben nicht positiv, sondern sie müssen negativ elektrisch sein; folglich war der Säuretropfen, als er, neben einen Spiritustropfen gesetzt, von diesem angezogen ward, **positiv**; dagegen **negativ**, als er sehr bald darauf von dem letzteren abgestoßen wurde; und als er schließlich vorwärts und in den Spiritus hinein lief, wieder **positiv**.

Wenn man nun bei dem soeben geschilderten Versuche nicht die Vorsicht gebraucht den Säuretropfen soweit wie es das Gesichtsfeld bei 15facher Vergrößerung erlaubt, vom Spiritustropfen entfernt hinzusetzen, so kann man, während der letztere pfeilschnell hinüberschießt, nichts von Anziehung der Säure, sondern nur ihre Abstoßung erkennen. Folglich ist in diesem Falle das eingetreten, was wir bei dieser langen, der Gründlichkeit wegen jedoch unvermeidlichen Beschreibung zu zeigen beabsichtigen, nämlich der Verlust der durch die Einwirkung des Spiritus zu allererst entstehenden Elektrizitätsart der Säure, das Fehlen ihrer ersten Positivität. Die Beschreibung dessen, was im Verlaufe dieses Versuches. bei der innigen Vereinigung der beiden chemisch so verschiedenen Körper weiter geschah, werden wir aber später gut brauchen können, wo es sich nämlich um diejenigen elektrischen Vorgänge handelt, deren Resultat, wie schon angedeutet ward, die Lösung ist.

Etwas Aehnliches, wie bei der Einwirkung der Salpeter- oder Salzsäure auf den Spiritus geschieht auch wenn der nach der ersten raschen Verdampfung des letzteren bei gewöhnlicher Temperatur zurückbleibende, schwerer verdunstende Rest von frisch auf den Pinsel genommenem Spiritus abgestoßen wird, also positiv ist, nachdem vorher die Verästelungen des aufgelegten Spiritustropfens, die bei ihrer Verdunstung sich ja größtenteils zurückziehen (siehe Seite 118), negativ waren, wie wir erst oben sahen. Hier läßt sich nun mit Leichtigkeit erkennen, daß die Abstoßung aus denselben Gründen erfolgt wie jene des Salpetersäuretropfens durch den Spirituspinsel, obgleich derselbe auf sein Objekt, den Spiritusrest, nicht erst eine Zeit lang erwärmend einwirkte; denn dieser Rest ist aus einem anderen Grunde, nämlich durch den Wasserdampf der Luft, der überdies von dem in der Nähe befindlichen Beobachter stark vermehrt wird, schon derartig erwärmt worden, daß die so entstandene Elektrizität der liegen gebliebenen Flüssigkeit mit jener des frisch eingetauchten Pinsels entweder bereits gleichnamig ist, oder es bei Annäherung desselben augenblicklich wird. Beweis dafür ist der Umstand, daß der ganze Platz, welcher von dem auf das Objektglas gelegten Spiritus ursprünglich, oder nachdem er bereits floß, eingenommen wurde, z. B. der Ring V V V um den Rest R in Figur 59 ganz ebenso wie die Bahn des fortgestoßenen Säuretropfens (Fig. 57) bei der Behauchung nur sehr zart beschlägt und scharf begrenzt ist. Was bei dem

letzteren durch die verhältnismäßig lange bez. sogleich sehr intensive Einwirkung der Spiritusdämpfe geschah, kommt hier offenbar dadurch zustande, daß der aufgelegte Spiritustropfen gemäß seiner, wie man kurz sagt, großen „Verwandtschaft" zum Wasser, die atmosphärischen Wasserteilchen heftig anzieht. Um nun von dieser Anziehung eine kleine Vorstellung zu bekommen, müssen wir die Untersuchungsmethode noch mehr verfeinern und hierauf Fälle in der Natur aufsuchen, wo man das Resultat der Anziehung mikroskopisch kleiner Teilchen durch ein Wärmezentrum als Ansammlung oder Anhäufung derselben mit bloßen Augen sehen kann, zuvor aber noch die Elektrisierung des Wassers selber durch plötzliche Erwärmung, wie sie auch in der Natur vorkommt, besprechen und die nächsten Schlüsse daraus ziehen.



Fig. 59.

Das einfachste Mittel einen Wassertropfen elektrisch zu machen ist dessen Behauchung, und erkannt wird die so entstandene Elektrizität daran, daß sich seine dieser Wärmequelle zugewandte Hälfte sofort mit einem ansehnlichen Rucke nach derselben hinbewegt — also ebenso, wie bei Elektrisierung des Wassertropfens durch eine flüchtige Flüssigkeit, die in ihm unter Wärmeentwickelung mehr oder weniger löslich ist, so daß sie den letzteren, in höherem Grade aber noch die mit dessen Dämpfen gespeiste Umgebung vermittelst ihrer eigenen Dämpfe schon von weitem erwärmt.

Wird auf das Objektglas O O (Fig. 60), das samt dem Objekttische 18—20° warm ist, ein 2—3 mm großer Wassertropfen n von 16—17° Temperatur im etwa 18° warmen Zimmer gesetzt und während seiner Beobachtung unter der 15fachen Lupenvergrößerung behaucht, indem man den

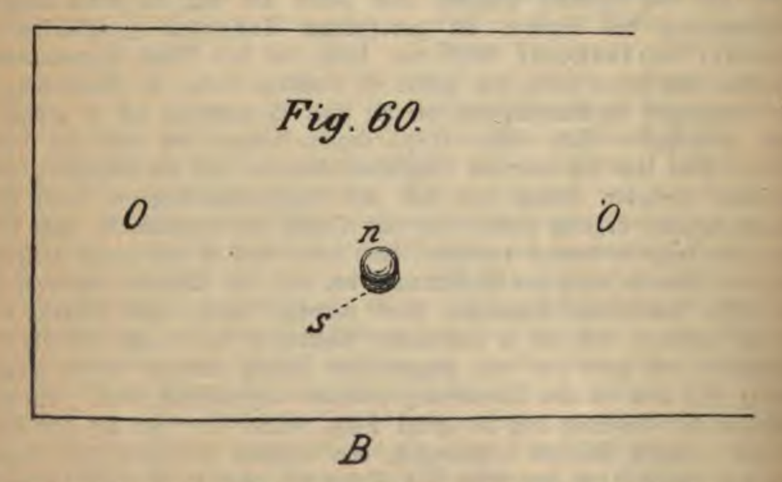


Fig. 60.

Mund ein wenig öffnet und ein, weil die betreffenden Teile des Instrumentes stören, nicht zu schwaches Exspirium zuläßt, so gelingt die Elektrisierung am besten, d. h. das dem Munde zunächst gelegene Segment s des Wassertropfens n kommt sogleich auf den Beobachter B zu und eilt, bis über 1 mm zurücklegend, bald ebenso schnell wie beim Wasser-Säure-Versuche W' in Figur 44 nach dem Pinsel P hin. Hatte man das Mikroskop samt dem Objektglase, um beide ein paar Grade wärmer zu machen als das Wasser ist, in die nur noch laue Wärmröhre gestellt, so gelingt der Versuch ganz sicher; ebenso sicher aber rührt sich der Wassertropfen nicht von der Stelle, wenn man den Versuch, nachdem er das erste Mal gelang, auf demselben Glase gleich noch einmal machen will, oder wenn man es unmittelbar vorher geputzt, also durch das Anfassen und durch die Reibung derartig erwärmt hat, daß es von dem Exspirium, wodurch, nebenbei bemerkt, das auf dem Objekttische liegende Thermometer um mindestens einen halben Grad steigt, lange nicht mehr umsoviel wärmer als ein nicht vor kurzem behauchter oder geputzter Objektträger werden kann. Folglich ist es die plötzliche, sich in gewissen Grenzen haltende Temperatur-Zu- und Abnahme, wodurch die Elektrizität und zwar derart erzeugt wurde, daß das Glas namentlich zwischen B und s wesentlich stärker als der hohe Wasserberg n erwärmt und infolgedessen zu diesem in ganz ähnlicher Weise ungleichnamig elektrisch wurde wie bei all den andern Tropfenversuchen, wo Anziehung zu beobachten war.

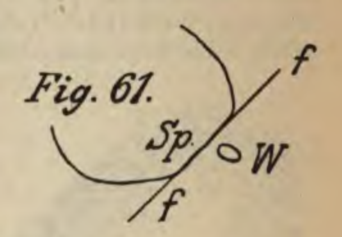
Der auf eine erwärmte Fläche gesetzte Wassertropfen läßt jedoch, obgleich er nicht nach einer vorzugsweise warmen Stelle plötzlich hinschnellt, dennoch Zeichen von Elektrizität und zwar schon in dem Augenblicke an sich wahrnehmen, wo er die wärmere Unterlage berührt, diese also um sich herum erkältet und sich selber erwärmt: Statt beim Auflegen eine Halbkugel zu bilden, fließt er sofort breit. Dieses Breitfließen ist, wie schon früher angedeutet wurde, genau genommen nur der geringste Grad von jenem elektrischen Vorgange, demzufolge ein Spiritus- oder ein Terpentinöltropfen auf einem warmen Objektträger nach allen Richtungen hin in der wiederholt beschriebenen Weise auseinander gerissen wird; weil aber Wasser, wenn es sich in einem Gefäße befindet, immer eine Temperatur hat und unter gewöhnlichen Umständen behält, die von jener des Gefäßes in ähnlicher Weise verschieden ist, wie z. B. die Substanz des Glases von jener des Wassers selber, so kommen wir schon hierbei auf die Vermutung, daß auch die bei der Kapillarität und Adhäsion so offenkundige Anziehung elektrischen Ursprunges ist. Genaueres darüber findet sich weiter unten. Indessen sei schon hier ein Versuch, der sich darauf bezieht, ich meine über die scheinbar seltene, im Grunde aber äußerst gewöhnliche Temperaturbewegung, über die Verdunstungskälte eingeschaltet, die bei der allergemeinsten Kapillaritätserscheinung, der Aufsaugung durch poröse Körper, die Hauptursache jener gewaltigen Anziehung ist, nämlich über das Kälterwerden eines nassen löschpapierartigen Fasergewirres.

Am 24. März 1891 saß ich früh 4 Uhr, während es draußen — 5° und ganz still war, in einem Zimmer, das überhaupt nicht geheizt wurde,

beim Scheine der ca. 40 cm entfernt von mir stehenden Petroleumlampe, am offenen Fenster: Wasser in einem Glase auf dem Fensterbrette zeigte + 4° und das Präpariermikroskop samt den Objektgläsern und nötigen Instrumenten waren schon die ganze Nacht im Zwischenfensterraum gewesen. Ich wurde rasch kalt und das horizontal mit seinem Gefäße auf dem Objekttische liegende Thermometer blieb, während ich davor saß, auf + 2° stehen. Nun ward auf etwas Fließpapier, das neben mir lag, ein klein wenig Watte gethan, diese mit dem nur 4° warmen Wasser betropft und alsdann mit einem andern Stückchen Fließpapier bedeckt. Sowie sich das letztere vollgesogen und die Watte niedergedrückt hatte, wurde die an dem einen oder anderen Papiere klebende Watte von demselben mit einer kalten Pincette abgenommen: Sofort war das noch frei in der Luft gehaltene durchtränkte löschpapierartige Fadengewirr der Watte in der Temperatur von + 2° am offenen Fenster an vielen Stellen weiß bereift und peripherisch steif. Die gefrierende Watte legte ich nun auf einen bereits auf dem Objekttische befindlichen Objektträger derart, daß ein dünner Ausläufer des platten Fadengewirres frei über die eine Langseite des Glases hinausragte: Er war noch wasserdurchtränkt, tropfte aber nicht mehr und erwies sich nach wenigen Sekunden unter der Lupe als gefroren: Seine Fäden waren mit kleinen Eisschollen besetzt und, wie die Untersuchung mit einer feinen Holzsonde, natürlich bei abgelenktem oder angehaltenem Atem, ergab, vollkommen steif geworden — trotz der Wärmestrahlung meines Körpers, der Lampe und der ursprünglich noch verhältnismäßig hohen, vier Grade betragenden Temperatur des verwendeten Wassers. Die Kälteentwickelung bei der Verdunstung des Wassers auf einem Maschenwerke von feinen Fäden, gleichsam auf selbstgemachtem Fließpapiere, ist also eine sehr große, und wenn sie auch unter andern Umständen geringer sein wird, so zeigt der Versuch doch, daß auch dabei ein Temperatursturz eintritt, der, wie überall, Elektrizität erzeugt, und daß es diese ist, welche den Hub des Wassers von Stufe zu Stufe, und, den Vorgang im Kleinen betrachtet, blitzschnell bewirkt. Umgekehrt wird natürlich auch rasche Erwärmung dasselbe leisten, z. B. bei der Umsetzung der während der kalten Jahreszeit in den Wurzeln und Knospen der Pflanzen so massenhaft aufgespeicherten Stärke in Zucker, so daß das gewaltige Saftsteigen im Frühjahre gleichfalls eine Elektrizitätswirkung sein wird — ein Zug nach oben, der an den Wurzeln wie an den Zweigen von meist unzählig vielen Punkten ausgeht.

Dafür, daß auch die der Kohäsion zu Grunde liegende Anziehung elektrischer Natur ist, spricht indirekt die bereits Seite 117 erwähnte, höchst auffallende Beobachtung, daß die von einem Spiritustropfen abgestoßene Fläche eines Salpetersäuretropfens sofort erzittert, wenn sie von einem Luftzuge, nämlich von dem zufällig zuströmenden oder absichtlich zugelassenen Exspirium getroffen wird. Ganz dasselbe, und oft in noch viel höherem Grade, sieht man aber auch am einfachen Wasser, wenn nämlich ein kleiner Tropfen davon, der nicht einmal flach zu sein braucht, von einer ihm sehr nahen, sich aber nicht, wie bei Versuchen mit dem Spirituspinsel, rasch vermindernden, sondern eher noch stärker werdenden Elektrizitätsquelle abge-

stoßen wird. Dieser Fall ist gegeben, wenn man ein etwa $^1/_2$ mmgroßes Wassertröpfchen dicht, d. h. $^1/_2$—$^1/_4$ mm neben die langsam fortschreitende Ausbreitung eines Spiritustropfens setzt. Da der erstere von dem letzteren, wenn er rasch auswächst, leicht angerannt und verschlungen wird, so machen wir den Versuch in einem kühlen Raume, wo das Wasser, der Spiritus und die Gläser nur 15—16° warm sind; erwärmen jedoch das Mikroskop in der Wärmröhre auf 20—21°, damit der Objektträger während der Beobachtung und Behauchung nicht zu leicht beschlage. Unter diesen Umständen breitet sich ein nicht zu kleiner, etwa 5—6 mm großer Tropfen von Spiritus rectificatus, falls man eben nicht heiß ist und das Glas nicht kurz vorher geputzt, also nicht erwärmt ward, nur langsam und spärlich aus, und wo diese Entwicklung am geringsten ist, setzt man das Wassertröpfchen hin. Am besten ist es aber, wenn man es dort hinlegt, wo der Spiritus an eine von den mikroskopisch feinen Furchen oder Striemen f f (Fig. 61), die so viele Gläser haben, gelangt ist; denn diese mehr oder weniger geraden Linien vermag er, ähnlich wie der vom Spirituspinsel bis an eine solche Furche bez. Leiste getriebene Salpetersäuretropfen, gewöhnlich nicht zu überschreiten — wahrscheinlich weil die höchst temperaturempfindliche Kante zur Flüssigkeit gleichnamig elektrisch wurde. An dieser vor einem Ueberfalle geschützten Stelle f f wird nun die dem Spiritus Sp zugewandte Hälfte des Wassertropfens W, auch wenn man die Behauchung des Glases sorgfältig vermeidet, nach einigen Sekunden mehr oder weniger angezogen, kaum eine Sekunde später jedoch plötzlich etwas abgestoßen, und **von dem Augenblicke an zittert oder flattert die gleichnamig elektrisch gewordene Hälfte des Tröpfchens im Hauche so lange, bis der Rand des Spiritus eintrocknet** und der dahinter befindliche flüssige Rest sich schnell zurückzieht. Dann aber ist es im Winde wieder unbeweglich wie jedes andere Tröpfchen, das man auf den Träger setzt. **Wenn die starke, bis zur Gleichnamigkeit fortgesetzte Elektrisierung aufhört, ist also die gewöhnliche Festigkeit des Wassers, der normale Zusammenhang seiner Moleküle wieder** da; daß sie aber jetzt immer noch durch schwache Elektrizität zusammengehalten werden können, dürfte aus den Versuchen hervorgehen, die Kap. 17 wiedergegeben sind, nachdem wir das Schicksal der vom Spiritus bis zur Gleichnamigkeit elektrisierten Wassertropfen weiter beobachtet und eine passende Gelegenheit gefunden haben werden, etwas mehr über die Adhäsion zu sagen.



Jedoch viel einfacher, sicherer und mit weit großartigerem Erfolge gelingt der Versuch das Wasser kleiner Tropfen so leicht beweglich zu machen, wenn man im kühlen Zimmer ein Objektglas so lange behaucht oder in eine Wolke von Wasserdampf bringt, bis es dicht besetzt ist mit bis 1 mm großen, auf das mannigfaltigste geformten Tautropfen, und hierauf das Ende des zu diesem Zwecke am besten in Spiritus vini rectificatissimus getauchten Pinsels, der damit nur mäßig gefüllt ist (weil er sonst zu leicht

das Glas berührt) unter der Lupe und bei abgelenktem Atem dicht über eine und dieselbe Stelle hält. Da sieht man nun zu seinem Ergötzen, daß fast überall neben dem Pinsel die ihm zugewandten Hälften der Wassertropfen zurückschnellen, also mit dem Pinsel sofort gleichnamig elektrisch geworden sind und zwar von so vielen, daß man sie mit einem Male gar nicht übersehen kann, und wenn jetzt etwas Atem, nicht durch den Mund, sondern durch die Nase, damit das Glas nicht zu viel Wasserdampf bekomme, zugelassen wird, so erzittern sofort alle die vom Pinsel gleichsam aufgerollten Tropfenhälften zugleich und dauert dies, vorausgesetzt, daß sie immer wieder von neuem angeblasen werden, so lange als der Spiritus noch lebhaft verdampft. Ein herrlicher Anblick! Aber das ist noch nicht alles; denn nach wenigen Sekunden schon fällt auf, daß, wenn man nicht mehr haucht, zunächst die kleinsten von den abgestoßenen Tropfen zusehends schwinden, dann auch die größeren schnell abnehmen und die unter dem Pinsel befindlichen schon fast ganz verdunstet sind, während die weiter vom Pinsel entfernt liegenden Wasserberge noch ebenso prall dastehen wie zu Anfange (Fig. 62). Die Tautropfen brauchen aber durchaus nicht die angegebene Größe erreicht zu haben; vielmehr verlaufen die geschilderten Vorgänge, auch wenn jene wesentlich kleiner, z. B. nur $^1/_8$—$^1/_4$ mm groß sind, ganz ebenso, jedoch viel schneller, und aus diesem Grunde sowie wegen der Kleinheit der Objekte sind sie fürs erste hier nicht so leicht und sicher mit dem Auge zu erfassen. Andererseits aber ist der Gesamteindruck der Verdunstung um und unter dem Pinsel viel bedeutender als wenn die Tropfen sehr groß sind, und wächst die leere, d. h. von Wasser völlig frei gewordene, der Form des Pinsels entsprechende Stelle auf dem Objektglase rasch umso mehr, wenn kein Atem, also kein Wasserdampfstrom zugelassen wurde.*)


Fig. 62.

Fragt man nach der Ursache der so schnell vor sich gehenden Verdunstung, so wäre zunächst an die bei der Vermischung der Alkoholdämpfe mit dem Wasser und seinem Dampfe entstehende Wärme zu denken. Gewiß spricht dabei Wärme mit, denn der Versuch gelingt schwerer, wenn das Zimmer und alles Zubehör statt 16°—17° nur 13°—14° warm ist;

*) Enthält der Pinsel sehr viel Spiritus, so läßt sich bei diesem Versuche recht gut wahrnehmen wie der Alkoholnebel, den man im halben Dunkelfelde erkennen kann, viele von zwei benachbarten Wassertropfen so stark bereichert, daß dieselben mit einem Rucke zusammenfließen. So interessant dies an sich und für die Theorie ist, so vermied ich doch stets eine so starke Füllung des Pinsels, weil dadurch die Elektrisierung und die darauf folgende beschleunigte Verdunstung, die ich beobachten wollte, unnötig verzögert wird.

allein eine heiße, dem Spirituspinsel ähnliche aber unelektrische Wärmequelle vermag nicht eine derartige Verdunstung hervorzubringen. Wenn man zum Beispiel das konische Ende eines Drahtnagels, das ungefähr ebensogroß wie der Spirituspinsel ist, an der Flamme erwärmt, dabei aber nicht isoliert, sodaß die durch die Erwärmung und Abkühlung entstehende Elektrizität (S. 75) sogleich wieder abgeleitet wird, und es ebenso wie jenen so dicht wie möglich über die Tautropfen hält, so verdunsten trotzdem nur ein paar von ihnen, niemals aber eine so große und immer größer werdende Menge. Oder wurde der Nagel isoliert in die Flamme gehalten, dann ebenso wie vorher verfahren, wobei seine Elektrizität durch den teils vom Experimentierenden, teils von den Tautropfen ausgehenden Wasserdampf, wie wenn man ihn behauchte, verschwindet, so zeigt sich gleichfalls nur eine sehr geringe Verdunstung und hier wie dort keine Spur von Elektrizität der Tropfen. Sehr gesteigerte Wärme ist also ganz sicher nicht die Ursache der so rasch überhandnehmenden Verdunstung unserer Tautropfen. Außer ihrer Elektrizität war aber an ihnen, wie gesagt, noch die andere merkwürdige Eigenschaft wahrzunehmen, nämlich daß sie während ihrer Abstoßung im Winde des Exspiriums fluktuierten und zwar so schnell und anhaltend, daß man beim ersten Anblicke der völlig gleichartigen und gleichzeitigen Bewegung von 10, 20 und mehr Tropfen, die vor ihrer Elektrisierung im Hauche keine Spur von Bewegung zeigten, nicht weiß, ob man recht gesehen hat. Demnach kann sowohl die so beispiellos leichte Beweglichkeit des Wassers, während es mit der Elektrizitätsquelle gleichnamig elektrisch ist, eine Erscheinung, die an den oft ganz unbegreiflich heftigen, zu dem Winde in gar keinem Verhältnisse stehenden Aufruhr der See erinnert, als auch seine so wunderbar schnelle Verdunstung nur die Wirkung der Elektrizität selber sein. Schon bei dem ersten Versuche (S. 135), wo nur ein Wassertropfen neben der Spiritusausbreitung lag, schien es immer, als ob derselbe unter der Einwirkung der letzteren und bei abgelenktem Atem ungewöhnlich rasch verdunste; indessen ließ sich das dort mangels eines Vergleiches mit anderen daneben liegenden, aber unelektrisch gebliebenen Tropfen nicht entscheiden, und darum wurde die Sache damals gar nicht erwähnt. Hier aber, wo man den Spirituspinsel über das mit Tropfen dicht besäte Objektglas hält, ist der unumgänglich notwendige Vergleich von selber gegeben, und darum liefert der so unendlich einfache Versuch das schönste Beispiel von **„Elektrischer Verdunstung"** das man sich nur denken kann.

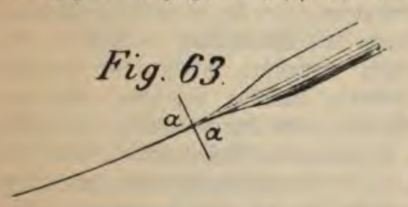
Ebenso nun, wie wir uns vorstellen, daß die kleinsten Teilchen eines seine Form äußerst leicht ändernden Körpers, also eines Gases, viel weiter von einander entfernt sind als jene einer Flüssigkeit, so werden auch die Moleküle einer solchen, die aus irgend einem Grunde leichter beweglich geworden ist, weiter auseinander gerückt worden sein. Folglich sind es in unserem Falle die, kurz gesagt, von dem Spirituspinsel ausgehenden elektrischen Wellen gewesen, welche den Wassertropfen durchdrangen und dessen Moleküle zunächst auf der ihm zugewandten Seite auseinander gerückt, wahrscheinlich aber auch — wir werden bald

sehen auf welche Weise — in lebhafte Bewegung versetzt haben. **Lockerung der Moleküle muß bei der gleichnamigen Elektrisierung unserer Tautropfen stattgefunden haben**, und wenn dies der Fall ist, so dürfen wir schließen, daß die gelockerten, gewissermaßen selbständig gewordenen kleinsten Wasserteilchen durch die Elektrizitätsquelle auch alsbald, ja wahrscheinlich sofort höher wie der Tropfen als Ganzes elektrisiert werden, weil das Kleine, der Teil, sich leichter erwärmt als das Große, das Ganze. Die günstig, d. h. oberflächlich und am Rande gelegenen Moleküle unseres bis zur Gleichnamigkeit elektrisierten Wassertropfens werden also früher oder später gegen die Quelle wieder ungleichnamig elektrisch, mithin von ihr angezogen werden und auf sie stürzen.

Weitere Beispiele von elektrischer Verdunstung, die in der Natur vielfach, ja bei Gegenwart von Wasser wahrscheinlich regelmäßig vorkommt und die Hauptursache der häufig so außerordentlich schnellen Aufklärung nach Gewittern ist, folgen erst im Laufe dessen, was über die Adhäsion zu sagen sein wird. (Vergl. Kap. 17).

Die Lockerung des Zusammenhanges infolge von plötzlicher sehr starker Elektrisierung läßt sich jedoch auch an festen Körpern, und zwar besonders gut am Glase nachweisen.

Wir haben (S. 93) gesehen, daß Nichtleiter oder isolierte Leiter schon durch die bloße Berührung mit den Fingern oder dadurch, daß man sie in der Hand hält, elektrisch und durch fortgesetztes bez. wiederholtes Anfassen unter Zeichenwechsel bis zu dem Punkte immer stärker elektrisch werden, wo die damit verbundene Erwärmung des betreffenden Gegenstandes nicht mehr rasch gesteigert werden kann. Jetzt nehme ich eine alte, möglichst dünne Thermometerröhre, ziehe sie über der Flamme an einem Ende so, wie Figur 63 zeigt, aus, schneide den Faden da, wo er 0,1—0,2 mm dick ist und nicht mehr leicht bricht, ab und lasse den auf diese Weise bleistiftartig zugespitzten Stab etwa eine Viertelstunde fern von mir ruhig liegen oder im Loche eines ungestielten Hammers, die Spitze nach oben, stehen, damit das Glas vollständig kalt bez. unelektrisch werde. Alsdann fasse ich



ihn, wie eine Schreibfeder an und streiche mit seiner Spitze unter der 20fachen Vergrößerung langsam zwei oder dreimal auf dem Objektträger hin, nicht stärker drückend, wie beim Schreiben mit einem harten Bleistifte ohne Unterlage; aber es bröckeln an der scharfen Schnittfläche aa höchstens ein paar Stäubchen ab. Wieder wird der Glasstab, und zwar aus denselben Gründen wie vorher, aber nur für einige Minuten, hingestellt, auf den Objektträger ein großer Tropfen Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur gesetzt und nun mit jenem unter dem Wasser ebenso, d. h. möglichst mit demselben schwachen Drucke, hingestrichen: Sofort oder doch beim zweiten male springt und splittert eine Menge von Scherben, große und kleine, von der Spitze ab, ja sie hinterläßt beim zweiten oder dritten Striche,

zumal wenn er drehend erfolgte, ein ganzes Häufchen von so feinem Pulver, daß man die meisten von seinen Teilchen erst bei starken Vergrößerungen genau erkennen kann. Was ist geschehen? 1. Das Glas wurde an der angefaßten Stelle und infolgedessen auch an der Spitze, wiewohl weniger, erwärmt; 2. das dünne Glasende kühlte sich im Wasser plötzlich ab, und ward dadurch, wenn nicht schon vorher durch die Erwärmung, elektrisch; 3. es wurde infolge der Reibung von neuem erwärmt und nun so stark elektrisch, daß sich der Zusammenhang seiner Teile in weitem Umfange lockerte, während er kaum gestört wurde, wenn der Reibungswärme keine Abkühlung vorherging. Der elektrische Zerfall der Glasspitze geschieht aber auch, und zwar in noch höherem Maße, wenn man sie statt vor der Reibung abzukühlen stärker erwärmt als dies die letztere samt der Hand vermag, wenn man nämlich das Mikroskop mit dem Objektträger bis auf etwa 35° warm macht, alsdann einen vorgewärmten Wassertropfen auflegt und nun die Glasspitze unter dem Wasser reibt. Wieder ist es sehr wesentlich, daß die Reibung nicht auf dem trockenen, sondern auf dem mit Wasser bedeckten Träger erfolgt; denn auf jenem bröckelt abermals und zwar offenbar darum nur wenig ab, weil von der Reibungswärme dort viel verfliegt, während sie hier durch das Wasser zusammengehalten und auch der nicht geriebenen Fläche des eingetauchten Glases augenblicklich und von allen Seiten her mitgeteilt wird. Daher der Nutzen des Wassers beim Schleifen, das sich nunmehr als elektrischer Zerfall darstellt. Und wenn wir soweit sein werden (Kap. 28), daß Ozonbildung sich als ein ebenso guter Indikator für Elektrizitätsentwicklung erweist, wie die Abweichung der Magnetnadel für das Vorhandensein eines elektrischen Stromes, so werden wir die Elektrizitätserregung bei Reibung unter Wasser Jedermann aufzeigen können.

Andere hierher gehörige Beispiele sind das Schreiben mit dem Bleistifte, das „Fressen“ auf Metalloberflächen, das Zerspringen des kalten Glases vom heißen Punsche, der Glasthränen beim Abbrechen ihrer Spitze (weil das dazu verwendete flüssige Glas im Gegensatze zum Hartglase sehr schnell abgekühlt und dadurch für lokale Temperaturwechsel höchst empfindlich gemacht wurde) u. dergl. m. Die Elektrizität aber, die der schreibende oder zeichnende Bleistift hervorbringt, ist einfach dadurch nachweisbar, daß man mit dem letzteren einmal über das flach auf Papier aufliegende Pendelblättchen streicht und es gleichzeitig mit Beendigung des Striches aufhebt; war derselbe sanft, so geht das Pendel vor dem Glasstabe oft über 1 mm fort; war er aber einigermaßen stark, so bleibt meist ein Teil des Goldschaumes kleben, während der Rest gleichfalls positiv ist. Warum jedoch die kleinen Graphitteilchen, woraus die Bleistiftstriche bestehen, so fest auf ihrer Unterlage haften, erfahren wir im nächsten Kapitel.

Kapitel XVII.

Mikroskopisch kleine Teilchen werden gleichzeitig hier angezogen und dort abgestoßen.

Adhäsion. Bleibende elektrische Anziehung. Wasserdampf wird vom Glase an den Stellen, die sich vorzugsweise erwärmen oder abkühlen, bleibend angezogen. Kondensation. Krystallisation.

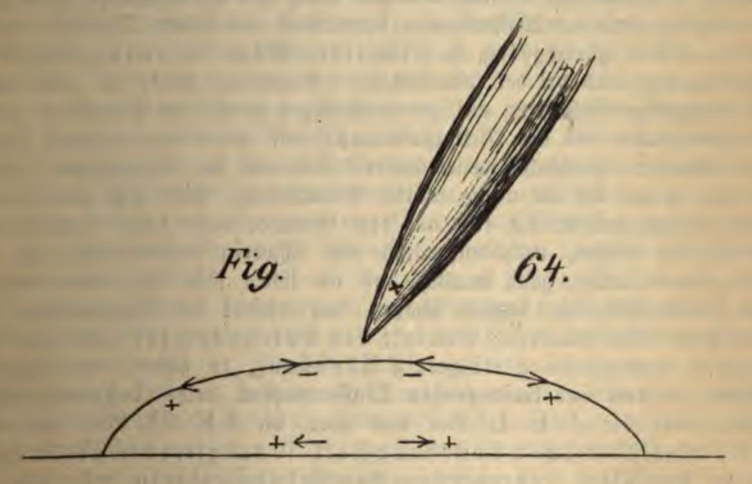
Was wir bei den Versuchen Tropfen elektrisch zu machen gelernt haben, dient zum Führer in eine Erscheinungswelt, die seit langer Zeit zahlreiche Physiker beschäftigt hat, in eine große Menge von mikroskopischen Bewegungsformen, deren Aufklärung für die Lehre von den Beziehungen zwischen Physik und Chemie und demzufolge für alle Naturwissenschaften zum unabweislichen Bedürfnisse geworden ist. Zwar haben große Forscher, zuerst wohl E. H. Weber, bereits vermutet, daß hier Elektrizitätswirkungen vorliegen; aber der Beweis dafür hat bis heute noch nicht gelingen wollen.

Die in erster Linie in Betracht kommenden Vorgänge gehören in das Kapitel der sogenannten Kontaktbewegungen, betreffen also hauptsächlich teils flüssige teils gasförmige Körper; wir werden jedoch sehen, daß diese Bewegungen auch ohne Kontakt entstehen, und daß bei der gegenseitigen Annäherung der Stoffe, wodurch jene hervorgebracht werden, überall Elektrizität die treibende Kraft ist, Elektrizität, die sie selber erzeugen und die, sobald Berührung eintritt, bewirkt, daß sie sich mit einander aufs Innigste vermischen. Zwei solche Stoffe werden demnach zum galvanischen Elemente, das auf seine Teile selber zurückwirkt, und indem wir diese Wirkung an den mikroskopisch kleinen Fremdkörpern, die sie enthalten, erkennen, lehren uns dieselben nicht nur das Vorhandensein, sondern auch die Art des Zusammenwirkens beider Elektrizitäten auf einander.

Die Stoffe, welche wir zuerst auf sich wirken lassen, sind wieder gewöhnliches Wasser und Alkohol; von jenen werden Tropfen von verschiedener Beschaffenheit auf den Objektträger gelegt und dieser im Pinsel ihnen möglichst stark genähert.

Als mikroskopische Fremdkörper dienten nicht nur die Staubteilchen, die auf offen stehen gelassenem Wasser schwimmen, sondern auch die zu ähnlichen Zwecken schon gebräuchlichen Amylumkörner; einerseits um nicht vom Zufalle abhängig zu sein, und andererseits um stets Wasser mit leicht sichtbaren und verschieden großen, meist regelmäßig, nämlich annähernd kugelförmig gestalteten Fremdkörpern zu haben, die teils oben auf dem Wasser liegen, teils in ihm schweben oder zu Boden sinken. Ich rührte also in ein weithalsiges Gläschen mit kaltem Wasser etwas gewöhnliches (Kartoffel-) Stärkemehl, davon jedoch nur so wenig, daß ein der Emulsion entnommener Tropfen nicht unübersehbar viele Körnchen, in Menge aber kleine Abfälle von ihnen enthält.

Sind wir jedoch nicht sehr auf unserer Hut, so begegnet uns sogleich etwas, das leicht auf falsche Fährte führen kann. Liegt nämlich ein mittel-, d. h. 3—4 mm großer Stärkewassertropfen auf dem Objektglase und wird ihm der frisch in Spiritus getauchte und nicht sehr ausgestrichene Pinsel unter der 15fachen Vergrößerung wie gewöhnlich genähert, so sieht man verwundert, daß alles was von feinen und feinsten Körperchen obenauf schwimmt, abgestoßen wird, und es hat immerhin einige Zeit gedauert, bis es mir zu beobachten gelang, daß auch hier Anziehung die erste elektrische Bewegungserscheinung ist. Die Schwierigkeit, welche sich dem Nachweise der Anziehung obenauf schwimmender kleinster Teilchen, die oft kaum ein Viertel der Blutkörperchengröße, also durchschnittlich nur 0,001 bis 0,002 mm Durchmesser haben, entgegenstellt, ist aber nur eine scheinbare und sogleich gehoben, wenn man die Elektrizitätsquelle, den Spirituspinsel, mit dem nötigen Verständnisse handhabt. Denn tritt Gleichnamigkeit als erste Elektrizitätswirkung auf, so ist unbedingt anzunehmen, daß die Quelle auf den elektrisch gewordenen Gegenstand zu stark einwirkte und alles zu thun, um sie abzuschwächen, wenn anders Anziehung erscheinen soll. Daher muß man einerseits sehr schwachen Spiritus, ferner einen möglichst feinen Pinsel nehmen, ihn auch so lange ausstreichen, bis er keine nasse Spur mehr hinter sich zurückläßt, und andererseits einen Wassertropfen auflegen, der sich schwer erwärmt, also recht groß, d. h. 6—8 mm breit und mindestens 1 mm hoch ist. Damit allein erlangt man aber nur sehr selten und unsicher die vermißte Anziehung; vielmehr muß zu alledem noch diejenige Haltung des Pinsels hinzukommen, bei welcher die Stelle, worauf gerade passend erscheinende kleinste Teilchen schimmern, möglichst ausschließlich und wenig



Spiritusdampf empfängt. Dies wird einfach dadurch erreicht, daß man, wie Figur 64 zeigt, den Pinsel, so sehr es nur der Lupenträger erlaubt, senkrecht hält, und dann ist die Anziehung auch gar nicht so gering; denn

sie beträgt bei 15facher Vergrößerung scheinbar 3—4 mm. Wenn aber im Pinsel noch viel Spiritus ist und er dem Wassertropfen horizontal, also nicht blos mit seiner Spitze, sondern mit einer ganzen Langseite genähert wird, so schnellen die kleinsten Fremdkörperchen oft mehr als scheinbar 15 mm fort und thun dies schon, ehe man noch den Pinsel unter der Lupe sieht. Uebrigens gehen sowohl die angezogenen als auch die abgestoßenen nach Entfernung des letzteren sogleich wieder an ihren alten Platz zurück. Ja man bringt es sogar bis zur nochmaligen Anziehung, wie bei dem zum Stabe gleichnamig elektrischen Pendel, wenn er stärker gerieben oder mehr genähert wird; diese aus Gleichnamigkeit hervorgegangene Ungleichnamigkeit, den zweiten Zeichenwechsel, erhält man bei im Wasser befindlichen Fremdkörpern aber nur unter besonderen Umständen, und davon wird erst Seite 353 die Rede sein.

Nun liegen häufig zugleich mehrere Fremdkörperchen oben auf dem Wassertropfen nahe bei einander, und da ist es von besonderem Interesse zu sehen, daß sie weder, wenn sie angezogen noch wenn sie abgestoßen werden, ihre gegenseitige Lage zu einander wesentlich ändern: Sie werden gleichsam als ein zusammenhängendes Ganze in Bewegung gesetzt. Hieraus folgt mit Sicherheit, daß ein großer Bezirk der Wasseroberfläche elektrisch geworden ist, und die Stellung der oberflächlichen sehr kleinen Massenteilchen zu einander noch nicht gestört wird, wenn die Elektrizität auf sie einzuwirken erst anfängt. Es fragt sich aber nun wie weit die entstandene Elektrizität bis ins Innere des Tropfens nachgewiesen werden kann. Die Antwort lautet: Der ganze oder doch fast der ganze Tropfen wird elektrisch! Denn sowohl bei der Anziehung als auch bei der Abstoßung der auf der Oberfläche des Wassers schwimmenden kleinsten Teilchen durch den Spirituspinsel sieht man, vorausgesetzt daß der Wassertropfen hinreichend viel feinen Detritus enthält, in der Tiefe gleichzeitig in demselben Maße die entgegengesetzte Bewegung; und bei der oberflächlichen Anziehung glückt es nicht selten, die gleichzeitige Abstoßung auf der abschüssigen Fläche des Tropfens, wo die Fremdkörperchen von der Elektrizitätsquelle, wie wenn die letzteren in der Tiefe schweben, gleichfalls weiter entfernt sind als die angezogenen, zu beobachten, zumal bei ein wenig schiefer Beleuchtung. Was sich aber in der Tiefe bewegt, befindet sich fast auf dem Grunde; denn dabei erkennt man zugleich die großen, verhältnißmäßig sehr schweren Stärkekörner, die dort ruhig liegen bleiben, ganz deutlich, und an ihnen läßt sich, eben weil sie feste Punkte sind, sehr bequem schätzen, um wieviel die Staubteilchen dicht über ihnen dahin wandern. Bewirkt der Spirituspinsel also oben Anziehung und unten gleichzeitig Abstoßung, **so haben wir hier im Wasser, in dem nur linsengroßen Wassertropfen, beide Influenzelektrizitäten, dort die J-E I. Art und hier die J-E II. Art vor uns**; und findet oben schon Abstoßung statt, so rangiert die Elektrizität der in der Tiefe angezogenen Partikelchen, ebenso wie die gewöhnliche **J-E II. Art, eine Stufe tiefer, weil die** tieferen Schichten des Wassertropfens durch die vom Pinsel ausgehenden Spiritusdämpfe lange nicht so stark erwärmt werden können als die

Oberfläche des Wasserberges. Hieraus ergiebt sich, **daß das Wasser schon bei sehr geringer Temperatursteigerung doppelt-elektrisch werden kann.**

Da nun die Wassertropfen, die sich in der Natur oder durch unsere Hand im freien Raume bilden, gleich bei ihrer Entstehung einem oder mehreren Temperaturwechseln ausgesetzt sind, so wird man ganz im allgemeinen sagen können, daß Wassertropfen an und für sich schon etwas elektrisch sind, oder es augenblicklich werden. Folglich müssen sie auch Attraktionszentren für alle die massenhaften mikroskopisch kleinen und noch kleineren Teilchen sein, die, in ihnen, löslich oder nicht, die Luft allezeit bald mehr bald weniger erfüllen, so daß die Oberfläche eines Tropfens sogleich eine größere Dichtigkeit und andere Temperatur bekommt als sein Inneres. Rechnet man ferner hinzu, daß das Wasser immer Salze enthält, von denen die schwer löslichen auf seiner freien Oberfläche eine von Sekunde zu Sekunde konzentrierter werdende Lösung bilden, aus welcher sie schließlich, wie das Mikroskop beim Brunnenwasser zeigt, oben auf auskrystallisieren; und bedenkt man endlich, daß die Umgebung des Wassers sowohl vermöge seiner Verdunstung als auch seiner so hohen spezifischen Wärme schon unter gewöhnlichen Umständen eine andere Temperatur und einen andern Temperaturgang als dieses haben muß: So kommen wir zu der Schlußfolgerung, daß die Oberflächenspannung nichts anderes als eine Elektrizitätswirkung sein kann. Später werden wir diese Auffassung näher begründen und sehen, daß der einfache Wassertropfen infolge seiner Elektrizität imstande ist, chemische Prozesse zu erregen, wenn er mit Metallen, die einigermaßen fein verteilt sind, in Berührung gebracht wird.

Sind nun die festen Körper, womit ein in der Entstehung begriffener bez. vor kurzem entstandener Wassertropfen in Berührung kommt, nicht mehr mikroskopisch klein, sondern bedeutend größer, so wird er viel stärker elektrisch werden, weil diese, einmal erwärmt, sich beträchtlich wärmer halten als jene. Daß aber die dabei sofort auftretende und schon mit unbewaffnetem Auge sichtbare Anziehung, die wir Adhäsion nennen, in der That von Elektrizität herrührt, ergiebt sich aus folgendem Versuche, wozu zwar blos die Berührung einer dünnen Gummiguttemulsion mit einer in einem Halter steckenden Nähnadel, aber doch viel Uebung und Geduld gehört.

Zunächst muß nämlich die Beobachtung der etwa 0,001 bis 0,004 mm großen Gummiguttteilchen, um deren Bewegung es sich handelt, bei schwacher, d. h. bei 15—20facher Lupenvergrößerung geschehen, weil sonst das Gesichtsfeld, das obendrein ziemlich stark zu verdunkeln ist, zu klein werden würde. Dann aber läßt sich der Versuch nicht sofort an dem aufgelegten Tropfen der Emulsion vornehmen, sondern man muß ihn langsam, also bei nur mittlerer Zimmertemperatur, so lange verdunsten lassen, bis er wenigstens teilweise äußerst flach geworden, dabei jedoch noch ziemlich dünnflüssig geblieben ist. Denn wenn das Wasser noch eine ansehnliche Tiefe hat, ist es so leicht beweglich, daß es nach der seine Oberfläche berührenden Nadel aus weiter Ferne von allen Seiten her massenhaft hinschießt und daselbst im Augenblicke einen riesigen Spitzberg bildet; ist es hingegen bis zu einem gewissen

Grade seicht geworden, so beschränkt sich seine unter sonst gleichen Bedingungen stattfindende zentripetale Bewegung auf einen Kreis mit höchstens 4 mm scheinbarem Durchmesser, geschieht aber gleichwohl fast ebenso schnell wie dort. Wenn nun die Nadel nicht zu tief gekommen ist, sondern nur die Oberfläche der niedrigen Lache so wenig wie möglich berührt und wieder aufgehoben wird, so bildet das von ihr herabgefallene Wasser eine dicht mit Gummiguttpartikelchen bedeckte kreisrunde, wenn auch meist nicht scharf begrenzte Ebene r (Fig. 65), die einige Sekunden Bestand hat. Um jedoch auf der Stelle mehr als diese Quittung über stattgefundene Anziehung zu erhalten, ist noch etwas nötig, nämlich daß das Wasser nicht mit dem spitzen, sondern mit dem stumpfen Nadelende und zugleich möglichst senkrecht berührt werde; besser als eine gewöhnliche eignet sich dazu natürlich eine sehr feine Nähnadel, weil deren Oehr den Berührungspunkt nicht allzusehr verdeckt; am besten aber gelingt alles mit einer regelrecht eingesetzten Nähnadel, deren Spitze erst abgebrochen oder abgebrannt und dann abgeschliffen wurde. So wie man nun die Mitte der punktierten Scheibe r mit dem abgerundeten Nadelende, wiederum ohne unten aufzutreffen, berührt, so bleibt ein Teil des Wassers zwar ebenso wie bei der ersten Berührung an ihm hängen, aber andererseits fliehen vor ihm die Gummiguttteilchen augenblicklich nach allen Richtungen hin und stellen sich rings um dasselbe in einem Kreise s auf, der ungefähr ebenso groß ist, wie jener (r), innerhalb dessen vorher die Anziehung, die Anhäufung der Stäubchen vor sich ging. Dieser Ring von dicht gedrängten, durch eine unsichtbare Kraft gleichmäßig nach außen getriebenen hellen Pünktchen um eine dunkle, fast glatte Stelle hält sich wieder einige Sekunden lang, und wie oft man auch ihre Mitte mit der stumpfen Nadel berühren mag, der lichte Kranz wird momentan stets ein wenig größer, sein Inneres immer reiner und so lassen sich in dem milchstraßenartigen Grau der noch unberührten Emulsion mehrere zirkelrunde, schwarze Stellen erzeugen, wo, wie gesagt, alle oberflächlich gelegenen Stäubchen vor dem Nadelende bis auf eine gewisse Entfernung geflohen sind. Wir haben hier also die beiden Fernwirkungen, welche die Elektrizität so ausschließlich charakterisieren, Anziehung und Abstoßung, kurz nach einander vor uns.



Fig. 65.

Wie die Nadel elektrisch wurde, erkläre ich mir so, daß sie vor ihrer Berührung des Wassers stärker erwärmt wird als dieses, und bei der Berührung sich plötzlich abkühlt. Genauer verfolgen läßt sich das jedoch mit Hilfe der noch nicht erwähnten Thatsache, daß die spitze Nadel nur bei der ersten Berührung keine Abstoßung, wohl aber etwas davon schon bei der zweiten, und bei der dritten oder vierten schon ebenso viel bewirkt, wie die stumpfe Nadel gleich bei der ersten Berührung erzeugt. Bei der Berührung des Wassers mit der dünnen Nadel muß also das nach und nach geschehen,

was bei jener mit der dicken sogleich fertig ist, und das kann nichts anderes sein als die einen gewissen Punkt erreichende Abkühlung. Die scharfe Spitze wurde vor der Berührung wärmer als die stumpfe, und jene kühlte sich erst nach wiederholter Berührung des Wassers bis zu dem Grade ab, den die Abkühlung dieser, der stumpfen Nadel, schon bei ihrer ersten Benetzung erreichte. Folglich wird der Temperaturwechsel der spitzen Nadel, und damit die Intensität, die Wirkungsweite ihrer eben durch jenen entstehenden Elektrizität höchstens erst bei der zweiten Berührung so stark wie bei der stumpfen schon während der ersten; und diese geringe Wirkungsweite gestattet eben auch die Arbeit der mit der Nadel gleichnamigen Elektrizität ins Gesichtsfeld zu bekommen, also jene der ganzen Influenzelektrizität zweiter Art, wodurch die Gummigutt- und Wasserteilchen rings um den adhärierenden Wasserkegel abgestoßen werden. Auf den Nachweis, daß bei der nur an einem Punkte stattfindenden **Adhäsion** unter geeigneten Umständen außer der Anziehung **auch Abstoßung** zu beobachten ist und, wie bei der von einem Punkte, z. B. einer Kugel ausgehenden Elektrizität, ihre Wirkung von allen Seiten her bez. nach allen Richtungen hin mit gleicher Kraft erfolgt, liefen die so einfachen Versuche mit der Gummiguttemulsion hinaus. Seiner Zeit werden wir sie mit teilweise besserem Materiale in größerem Maßstabe fortsetzen und dann wird sich zeigen, daß dergleichen Kraftäußerungen zu dem Gewöhnlichsten, was man sehen kann, gehören und im innigsten Zusammenhange stehen mit etwas, worauf die Molekularphysik von jeher großes Gewicht gelegt hat, nämlich mit der Oberflächengestalt der Flüssigkeit, auf bez. in welcher ein Körper schwimmt.

Mit Abstoßung verbunden, nur in etwas anderer Weise, sehen wir die Adhäsion auch überall da, wo ein relativ großer und schwerer Gegenstand auf dem Wasser schwimmt. Legt man z. B. das Ende N (Fig. 66 A)

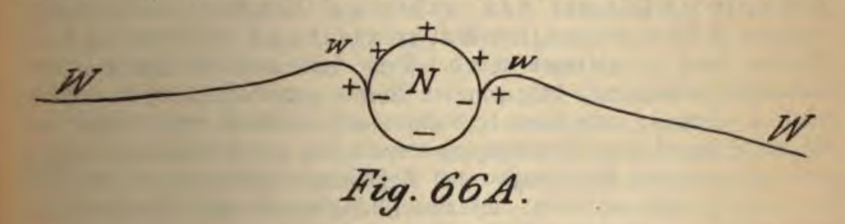


Fig. 66A.

einer im Halter steckenden Nadel, die frisch geputzt und absolut nicht fettig ist, unter der Lupe vorsichtig, aber mit einem gewissen Drucke auf die Oberfläche W W eines gewöhnlichen, auf den Objektträger gesetzten Wassertropfens, so wird die Nadel oberseits, gleichsam auf ihrem Rücken keineswegs benetzt, sondern die Oberfläche des Wassers, das bei der allerersten Berührung von der dabei stattfindenden Anziehung momentan in die Höhe gehoben ward, unter ihr niedergedrückt, was man freilich erst bei 20- bis 30facher Vergrößerung deutlich erkennt; weiterhin aber bilden sich die verhältnismäßig starken Wölbungen w und w, die nur bei Anwendung von Gewalt über dem Nadelrücken zusammenschlagen. In mancher Hinsicht noch

besser sieht man dies an Fasern oder Haaren F F (Fig. 66 B), die auf den Wassertropfen flogen oder aus seiner Tiefe, wo sie völlig benetzt waren, herausgehoben und obenauf gelegt wurden. Diese sind nämlich rechts und links auf der ganzen Wassergrenze offenbar sofort elektrisch; denn kleinere und sehr leichte Körperchen, die gleichfalls obenauf schwimmen, werden, wenn sie in die Nähe der Faser kommen und nur einigermaßen länglich sind, daselbst heftig und bleibend angezogen und stellen sich ausnahmslos axial (Fig. 66 B b b b), wie die Eisenfeile am Magneten Ohne Zweifel hat der schwimmende Körper oben, wo er trocken bleibt oder augenblicklich anfängt trocken zu werden, eine andere Temperatur als unten und seitlich, wo ihm das Wasser anhängt; und da dieser Unterschied trotz der beständigen Aenderung beider Temperaturen, sich ebenso gleich bleibt wie jener der Stoffe der beiden einander berührenden Körper, so erhalten sich die entgegengesetzten Elektrizitäten hier wie an jedem freien Gegenstande, der, wenn er nur von einer Seite beschienen wird, beiderseits verschiedene Temperaturen hat. Wurde z. B. die auf das Wasser gelegte Nadel N oben positiv und, soweit sie eingetaucht ist, negativ elektrisch, so ist das angezogene Wasser positiv und wird von der Positivität des Nadelrückens an der Berührungsgrenze, wo die Flüssigkeit einen Augenblick, oder eine hunderttausendstel Sekunde, oder noch kürzere Zeit seicht und sehr leicht beweglich gedacht werden muß, abgestoßen, zurückgedrängt, aufgerollt. **Dieser Gegendruck**, den die Elektrizität der freien Oberfläche eines schwimmenden Körpers nach außen auf das von seiner eingetauchten Hälfte angezogene Wasser ausübt, ist offenbar auch die Ursache, daß er **getragen** wird. Denn hebt man die Temperaturverschiedenheit dadurch auf, daß man den Körper gewaltsam unter das Wasser drückt, so sinkt er, auch wenn er dasselbe nicht annimmt, sofort unter; und von der Heftigkeit jener Fortbewegung werden wir uns besonders überzeugen, wenn wir von den Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen (s. Kap. 26) handeln, die man an festen, auf eine Flüssigkeit gebrachten Teilchen unter diesen Umständen schon mit bloßen Augen sieht.

Ist diese Erklärung richtig, so liegt die Frage nahe, ob nicht auch beim Schweben in der Luft, vor allem also bei den Tieren, die fliegen können und es augenscheinlich mit der größten Leichtigkeit thun, die Elektrizität wesentlich mit hilft. Denn einesteils werden die Bedeckungen der Flugtiere ja ungeheuer leicht elektrisch, und anderenteils ist namentlich die obere Flügelfläche schon an und für sich, jedoch viel mehr noch bei jeder Flugbewegung, kalt gegen Kopf, Hals und Rumpf, sodaß die Oberseite des Vogels, wenn er durch die Luft schneidet, zu seiner Unterseite entgegengesetzt elektrisch werden muß, auf jeden Fall aber die Wurzeln der Flügel beim Aufwärtsschlage ohne Muskelarbeit einen Druck nach oben, und beim

Niederschlage einen Zug nach unten oder auch dort Zug nach oben und hier Druck nach unten empfangen. Daher dürfte bei der Konstruktion der Flugmaschine die in diesem Sinne zu erregende Elektrizität das Punctum saliens sein. (Vergl. Kap. 26).

Es giebt jedoch auch Fälle, wo man sogar mit dem Pendel nachweisen kann, daß die Adhäsion eine elektrische Erscheinung ist, und zwar

1. an einem in eine, indessen nur ganz dünne, Schicht von Bärlappsamen rund herum eingehüllten Wassertropfen. Strenggenommen handelt es sich freilich hier und überall, wo wir von Adhäsion sprechen, um eine Kombination von Reibungs- und Berührungselektrizität — natürlich auch bei Volta's Fundamental-Versuche, da dieser ja am besten gelingt, wenn die Platten einander recht innig berührten, diese Berührung aber, mikroskopisch gesprochen, sich nicht ohne Reibung ausführen läßt.

Grobkörnige Massen, wie Schrot bis so feinkörnige wie Stärkemehl, werden, wenn sie nur trocken und isoliert sind, bei jeder Bewegung ihrer Körner, oder einiger von ihnen gegeneinander, nachweisbar elektrisch: Bei niedriger Temperatur und schwacher Reibung negativ, nach starker positiv. Von dieser Elektrizität kann man zwar nichts mit Probe I sehen, jederzeit aber mit Probe IIa bez. IIb sehr deutliche Ausschläge bekommen; sie verschwindet jedoch bald. So geht es auch mit wohlgetrocknetem Bärlappsamen, der z. B. auf eine ebenfalls völlig trockene und unelektrische Hartgummiplatte geschüttet wurde.*) Ist er aber für das unmittelbar über ihn schwebende und mit der Nadel berührte Pendelblättchen längst unelektrisch geworden, so zeigt er sofort wieder mindestens 1 mm Elektrizität, wenn das letztere flach auf ein Sporenhäufchen gelegt und mittelst der Nadel von oben her berührt wird; denn jetzt war durch die Probe selber auch jene Reibung entstanden, ohne welche eine Berührung undenkbar ist, und jeder, der unter dem Mikroskope gearbeitet hat, weiß, daß man trotz großer Uebung und Vorsicht dem Objekte, das bloß berührt werden soll, dabei doch immer einen kleinen Stoß versetzt. Es besteht also kein Zweifel, daß ein Wassertropfen den Bärlappsamen, worauf er fällt, d. h. sowohl die Körnchen, welche an ihm hängen bleiben als auch jene, die darunter und unmittelbar daneben liegen, reibungselektrisch macht; und demgemäß zeigt sich einerseits der bestäubte Tropfen, und andererseits sein Lager — er rollt ja oft von selber heraus — mit Probe IIa deutlich, d. h. etwa 1 mm, und zwar meist positiv elektrisch. Da nun aber die Reibungswärme der Bärlappsporen vom Wassertropfen augenblicklich verschluckt

*) Daher ist eine isolierte Metall-, etwa eine Voltasche Zinkplatte, auf welche aus einem Metallgefäße Eisenfeile geschüttet wurde, mit Probe IIa sofort negativ, an 10 mm und mehr, während die letztere unelektrisch erscheint. Und läßt man die Feilspähne von der Platte wieder herunter laufen, so ist die letztere augenblicklich positiv, da sie durch die erneute Reibung wärmer ward. Rutschte aber Eisenfeile in eine isolierte unelektrische Porzellanschale, so ist die letztere am oberen Rande mit Probe IIb nur schwach, die erstere aber, obgleich in der Tiefe liegend, stark abstoßend positiv. Mithin scheint die von Singer und Thomson an Metallfeile, die über die Fläche eines anderen oder auch desselben Metalles glitt, beobachtete Elektrizität weniger Berührungs-, als vielmehr Reibungselektrizität zu sein.

wird, also unmittelbar auf die Erwärmung ein Temperatursturz folgt, der, teils weil das Wasser an sich kälter als der Bärlappsamen ist, teils weil es beim Fallen durch die gesteigerte Verdunstung kälter als dieses wurde, in gar keinem Vergleiche steht zu dem Wärmeabfalle nach gewöhnlicher Reibung: So ist hier vorzugsweise Elektrizitätserregung eines Gegenstandes durch plötzliche Berührung mit einem kälteren gegeben, also etwas ähnliches wie wenn isoliertes Metall durch Berührung mit der Stricknadel, die im Schnee stak (S. 98), elektrisch wird, und die Voltaschen Platten durch die Trennungskälte viel stärker elektrisch werden als zuvor.

Stellt sich nun hiernach die Adhäsion als eine Elektrizitätswirkung dar, so scheint dagegen doch zu sprechen, daß der angezogene Körper an dem anziehenden dauernd haftet. Allein dasselbe sehen wir ja schon beim Magnetismus, der nur als ein besonderer Fall von Elektrizität gilt; wenn wir aber unser Elektroskop, das Goldschaumpendel, genau auf seine Leistungen prüfen, so ist dieses dauernde Hängenbleiben eines angezogenen kleinen Gegenstandes, sagen wir kurz, **die bleibende Anziehung,** sogar die zweite Haupterscheinung, womit uns die Elektrizität, sowie wir fein zu Werke gehen, überhaupt entgegentritt. Sie hätte daher eigentlich weit vor an den Anfang dieser Abhandlung gestellt werden müssen; allein dort würde sie uns sofort in die Tiefen der Mikrophysik geführt haben, in die wir erst, nachdem das Vorhergehende durchgenommen worden ist, einen Blick thun können. Uebrigens wurde auf die bleibende Anziehung, das Festgehaltenwerden des Pendels, so oft wir dieser eigentümlichen Erscheinung begegneten, schon mehr oder weniger aufmerksam gemacht und zum ersten Male sogar bereits in der Einleitung.

2. An einem sehr schwach elektrischen Gegenstand, z. B. an einem nur am äußersten Ende ein wenig geriebenen Ebonitstabe bleibt das angezogene Pendel ausnahmslos lange, d. h. mehrere Sekunden, über eine Minute, ja sogar bis viele Minuten lang hängen, ehe es abgestoßen wird oder auch nur abfällt. Das, was man Ladungsdauer nennt, meine ich aber nicht, sondern die Erscheinung, daß der angezogene Gegenstand unter Umständen überhaupt nicht mehr abfällt, geschweige denn abgestoßen wird, daß er, wenn nur die Quelle nicht nachläßt, dauernd an ihr hängen bleibt. Dies läßt sich ohne alle Mühe an Fechner's Elektrometer sehen, wenn man, nachdem die positive Polscheibe ein wenig niedergedrückt und die negative etwas höher gestellt wurde (damit das Goldblättchen, sobald es an der ersteren positiv geworden ist, von der letzteren nicht sogleich heftig angezogen werden kann), die warme Hand einem Teile des Apparates, um ihn stärker elektrisch zu machen (vergl. auch Kap. 19), mehr oder weniger nähert. Denn nachdem das Blättchen vom positiven Pole einige Male angezogen und abgestoßen worden ist, bleibt es, zumal wenn die Hand auf den Knopf gelegt wird, sehr bald an ihm hängen und haftet daran, ich weiß nicht wie lange, jedenfalls aber viele Monate so fest, daß der in die Nähe des sonst so äußerst empfindlichen Apparates gebrachte, stark geriebene Glas- oder Harzstab gar keine Reaktion hervorbringt — das Blättchen bleibt ruhig kleben. Hält man jedoch das Pendel an den Knopf, so springt es mit positiver Elek-

trizität ab, und macht man 15 cm über ihm die Fernprobe, so erhält man noch mehr als ein 1 mm — so fein reagiert es! Das an der positiven Polplatte hängende Goldstreifchen ist also positiv und zwar so stark, wie diese selber.

Indessen können wir uns damit nicht zufrieden geben, weil der angezogene Gegenstand sich nicht genauer untersuchen läßt, ferner zum Zwecke von Adhäsionsstudien viel zu groß ist und endlich nicht die erforderliche Form hat. Wir müssen einen sehr viel kleineren Leiter nehmen, der mit Ausnahme einer, makroskopisch gesprochen, winzig kleinen Stelle, dem Berührungspunkte, sich an allen andern Punkten untersuchen läßt und eine etwas längliche Form hat; denn es handelt sich bei der bleibenden Anziehung um die Beantwortung der Frage, wie die beiden Influenzelektrizitäten sich zu einander verhalten. Einen solchen zugleich wohl isolierten Leiter besitzen wir aber schon, es ist von unserem Pendel das Goldschaumblättchen, das, wenn eine seiner beiden freien Ecken an einem schwach elektrischen Körper hängt, mit einem andern, natürlich höchst empfindlichen Pendel in der gewünschten Weise untersucht werden kann.

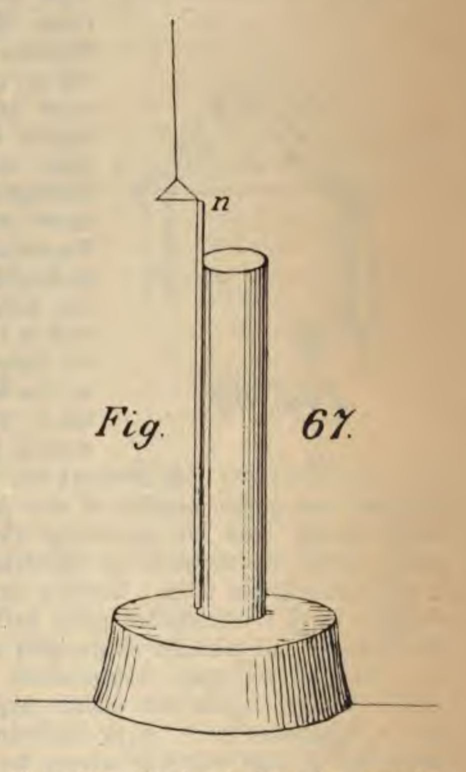


Fig. 67.

Als Elektrizitätsquelle benutze ich das glatt polierte Ende einer halben Stricknadel, die an die Seite einer senkrecht aufgestellten halben Siegellackstange geklebt und durch den schwach geriebenen Glasstab (mittelst „Ableitung") negativ elektrisch gemacht worden war. Fig. 67. Am besten wäre vielleicht die Anwendung eines konstanten Stromes gewesen; allein schon die Trockensäule des gewöhnlichen Elektrometers erwies sich als viel zu stark dazu; denn die Nadel mußte gegenüber dem zum Versuche dienenden, auf einem hinsichtlich seiner Höhe wohl abgepaßten Untersatze stehenden Pendel so schwach negativ sein, daß es nach ihrer Berührung nur 10—12 mm vor dem Ebonitstabe fortging — sonst blieb es eben nicht hängen, sondern wurde losgelassen oder gar abgestoßen. Die bleibende Berührung von Pendelblättchen und Nadel geschah so, wie es Figur 68 in vergrößertem Maßstabe wiedergiebt, nachdem die Spitze o des Dreieckes L den Gipfel n des abgerundeten Nadelendes von

selber getroffen, der Pendelfaden jedoch, zum Beweise, daß Anziehung stattfand, sich ein Minimum angespannt hatte bez. anspannen ließ. Es lag mithin nur das äußerste Ende der langen Seite des Goldschaumdreieckes auf; diese maß 6 und jede der beiden kurzen ungefähr 5 mm. Hierauf wurden die letzteren vom Berührungspunkte an, also die diesem nähere nach auf- und die entferntere nach abwärts mit einem anderen, wie gesagt, äußerst empfindlichen Pendel, das dementsprechend einen etwas längeren Faden und ein kleineres Blättchen l hatte, an mehreren Stellen natürlich nur mittelst Probe I, untersucht. Dabei ergab sich die wichtige, auf der Abbildung sogleich ins Auge fallende Thatsache, daß ganz nahe am Berührungspunkte **keine** Elektrizität nachweisbar, alsdann aber je weiter von der Quelle n entfernt, umsomehr Negativität, also die mit dieser gleichnamige Elektrizität, vorhanden war. Allerdings ist eine solche Untersuchung etwas schwer; sie wird es indessen eigentlich nur dadurch, daß die Spitze des prüfenden Pendelblättchens *l* an den Kanten des zu untersuchenden L da, wo sie deutlich und immer stärker elektrisch werden, fest hängen bleibt, **also der Vorgang der Adhäsion sich wiederholt.** Beim Abziehen des kleinen Pendelblättchens vom großen geschieht es aber sehr leicht, daß das letztere von der Nadel abreißt; denn die gegenseitige Berührung der beiden so ungemein zarten, häufig fein durchlöcherten Goldblättchen ist inniger wie jene zwischen L und dem kolbigen Eisen. Trennen sie sich nun unglücklicher Weise von einander, so ist L allenthalben gleich stark negativ und muß zur Fortsetzung des Versuches mit peinlicher Genauigkeit abgeleitet werden.

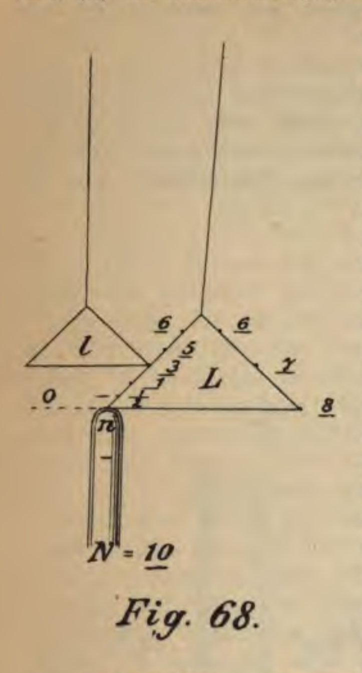


Fig. 68.

Da nun bei jedem wohlgeratenen Versuche L, das nach n hin sich immer schwächer negativ und endlich ganz unelektrisch zeigt, von dem negativen n festgehalten wird, so ist anzunehmen, daß L an dem Berührungspunkte, der ja nicht untersucht werden kann, positiv ist. Da aber ferner infolge der Berührung Negativität von n her unmittelbar nach L übergeht, so muß die nach n hin zunehmende und schließlich Null erreichende Schwächung derselben von Positivität herrühren, von der Influenzelektrizität erster Art, welche der über dem negativen n schwebende Teil von L naturgemäß bekommt; denn wenn das nicht der Fall wäre, so müßte L allenthalben gleichmäßig stark negativ sein. Und die Auffassung, daß die eigentümliche Ab- bez. Zunahme der Negativität des L die Wirkung der nicht zur Beobachtung gelangenden Influenzelektrizität erster Art sei, erhält eine sehr vollkommene Bestätigung durch die beiden folgenden Versuche. Wenn man nämlich die

Nadel N für Probe I zwar stärker, aber doch nur ziemlich schwach, d. h. etwa 15 mm stark negativ macht, dem von ihr angezogenen Pendelblättchen L aber blos erlaubt sich ihr bis ca. 1/2 mm zu nähern, so erhält man allezeit das in Figur 69 I wiedergegebene Bild; und ist zwar N sehr stark, d. h. ca. 50 mm negativ, L aber nur imstande sich ihr bis auf 6 mm zu nähern, so ist das Ergebnis wie in Figur 69 II. In beiden Fällen tritt die erwartete Positivität, die J—E I, wirklich zu Tage, bei Figur 69 I nur erst sehr schwach und am äußersten Ende von L, bei II jedoch schon beinahe in so hohem Grade, wie bei jedem andern stark influenzierten isolierten Leiter. Die Elektrizität der linken, der von N abgewandten Hälfte des L, ist aber auch in dem Falle wenigstens zum Teil Influenzelektrizität erster Art, wo, wie bei Figur 68, Berührung stattfand; denn bevor die Berührung möglich war, mußte doch L genähert werden und bei etwa 1 1/2 mm Entfernung den elektrischen Zustand haben, den Figur 69 I zeigt.

Bei feiner Berührung einer schwachen Elektrizitätsquelle durch einen kleinen isolierten Leiter geschieht also trotz jener noch diejenige Elektrisierung, welche eine starke in größerer Entfernung ausübt, die doppelte Influenzierung; und schon weil zwischen L und n Anziehung besteht, muß in der unmittelbaren Umgebung der Punke von L, wo Adhäsion stattfindet, eine Untersuchung aber unmöglich ist, Positivität vorhanden sein, die unter den gegebenen Um-

ständen niemals aufgezehrt wird, sondern fortwährend neu entsteht. Denn in dem Augenblicke, wo die Elektrizitätsquelle, also auch die von ihr erregte Influenzelektrizität zu schwach wird, läßt die Nadel das Pendelblättchen von selber los. Das Nämliche ereignet sich aber auch, wenn sie etwas stärker negativ gemacht wird; und verstärkt man die Elektrizität des n noch mehr, so fällt das Pendel nicht bloß einfach ab, sondern es wird sogar abgestoßen.

Gute Beispiele von bleibender elektrischer Anziehung, die schon ins Mikroskopische gehen, sind u. a. das Haften der kleinen Bleistiftteilchen auf dem Papiere (vergl. S. 139), das Staub-, wahrscheinlich aber auch das Insektenfangen der bekanntlich so leicht elektrisch werdenden, oder eigentlich wohl immer elektrischen Spinnenfäden, und die Bildung von spinneweb-artigen, oft fußlangen, aber durchaus nicht von Spinnen herrührenden Fäden, in bewohnten Räumen, z. B. an den Wänden und der Decke, die lange Zeit in Ruhe gelassen wurden. Untersucht man diese Gebilde unter der Lupe, so erweisen sie sich als Agglomerate von allen möglichen kleinen Teilchen, die im Zimmer umherfliegen, nur ist kein Spinnenfaden dabei. Ebenso aber, wie die echten Spinnenfäden im Freien vermöge ihrer hochgradigen Temperaturempfindlichkeit, wenn es trocken ist, beständig elektrisch sind und z. B. die Nebeltröpfchen, wie es die fein lackierten Spitzen der Pflanzenteile thun, massenhaft anziehen: Ebenso wird auch ein Fäserchen, das etwa vom Rocke abgeflogen ist und in eine kältere oder wärmere Luftströmung gerät, den nächsten Punkt influenzieren, an diesem hängen bleiben und bei jeder neuen Gelegenheit seine anziehende Kraft stärken. Daher bleibt, wie in Figur 68 einerseits L und n, und andererseits L und l einander nicht wieder loslassen wollen, an unserm Fäserchen ein Staubteilchen nach dem andern hängen und setzen sich an die letztere immer wieder neue an — die Entstehung einer Welt im Kleinen!

Hierher gehört aber auch die Anziehung von Wasserdampftröpfchen durch Flächen bez. Körper, welche entweder an sich schon wärmer sind als ihre Nachbarschaft, oder es erst in Berührung mit jenen werden. Zunächst ist auf diese Weise der merkwürdige alte, durch R. Ed. Liesinger*) der Vergessenheit entrissene und erweiterte Versuch von Dorthes**) zu erklären, wonach der Dampf des Wassers und anderer Körper sich an oder in einem Glasgefäße an der dem Lichte zugewandten Seite desselben vorzugsweise bez. ausschließlich niederschlägt. Wo das meiste Licht hinfällt, entsteht auch die meiste Wärme, und diese, nicht das Licht als solches, macht das Glas auf der betreffenden Seite elektrisch, wie wenn es daselbst auf andere Weise erwärmt würde; und diese bei der einseitigen Belichtung einseitig entstehende Elektrizität läßt sich mit unserem Mikrokondensator, also mit der Probe IIa, vorausgesetzt, daß das Pendel hinreichend zart und lang ist, auch ganz gut nachweisen, nämlich, und zwar schon wenn Wasser und Glas die gleiche mittlere Zimmertemperatur haben, 1—5 mm Negativität, dann ebensoviel oder noch mehr Positivität, dann wieder Negativität und meist nochmals,

---

*) Naturwiss. Wochenschrift 1896, Nr. 5.
**) Gren's Journal der Physik 1790, Band I (3) S. 497.

wiewohl weniger Positivität, während die vom Lichte nicht direkt getroffene Seite unelektrisch bleibt. Obgleich Liesegang die einseitige Bethauung für „eine Wirkung des Lichtes" hielt, so hatte er doch ganz richtig erkannt, daß die letzte Ursache der ersteren Elektrizität sein müsse, daß die Dampf-tröpfchen dort elektrisch angezogen würden. Allein nicht blos, daß sie dahin gezogen werden, sie entstehen auch durch die Elektrizität, nämlich, wie wir oben (S. 136) sahen, durch Lockerung des Zusammenhanges der Wassermoleküle in der Nähe des elektrisch gewordenen Glases, durch elektrische Verdunstung. Darum stellte die Großmutter, wenn sie Arnikaspiritus machen wollte, die Flasche in die Sonne, drehte sie von Zeit zu Zeit und nahm dabei, ohne es zu ahnen, Elektrizität zu Hilfe.

Ein anderer und zwar besonders lehrreicher Fall, wo Wassertröpfchen von einzelnen Stellen, die sich plötzlich etwas erwärmen, angezogen werden, ist die eigentümliche Erscheinung, daß z. B. an kalten Herbstmorgen die Fensterscheiben, wo der Küchendampf hindringen kann, rings um gewisse Punkte, getrocknete Spritzel von irgend welchen organischen Flüssigkeiten, namentlich aber um die zu dieser Jahreszeit dort fast unausbleiblichen runden Fliegenexkremente, nicht beschlagen, sondern daß sich um dieselben je ein weithin sichtbarer, von Wasserdampf gänzlich freier, **dunkler Hof** bildet, dessen äußere Grenze jener der erhabenen Auflagerung vollkommen parallel läuft. Es ist dasselbe, was wir Seite 111 unter der Lupe bei Behauchung eines Salpetersäuretropfens (Fig. 44) sahen, Wärmehof nannten und den auch feste Körper, falls sie nicht an sich oder infolge davon, daß ihnen atmosphärisches Kochsalz anhängt, sich leichter als das Glas erwärmen. Allein der Hof ist nicht blos Wärme-, sondern auch zugleich Elektrizitätswirkung, und nach den Vorstudien, die wir seitdem gemacht haben, läßt sich die letztere nunmehr leicht erklären.

Wenn man auf eine hinlänglich kalte, d. h. nur etwa 10° warme Fensterscheibe einen kleinen Tropfen Honig setzt und diese Stelle stark behaucht, so reicht der Tau bis unmittelbar an denselben heran; aber nur einige Sekunden. Denn alsdann entwickelt sich rings um ihn herum ein erst sehr schmales, jedoch zusehends breiter werdendes dunkles, glattes Band, das nur darum so schwarz aussieht, weil es ganz frei von Wassertröpfchen ist, daneben aber der weißliche Beschlag noch minutenlang anhält. Hat das dunkle Band eine gewisse Breite, nämlich ungefähr 3 mm, erreicht, so wird es nicht mehr breiter; indessen zeigt das Glas daselbst, wenn es vor der Behauchung nicht ganz rein war, sondern sehr kleine, punktförmige Auflagerungen hatte, sich jetzt innerhalb des Hofes entschieden reiner, viel dunkler und glatter als zuvor. Hier muß also die lokale, ringförmige Verdunstung, wodurch der Hof entstanden ist, so gewaltsam vor sich gegangen sein, daß auch vieles von jenen Verunreinigungen mit fortgerissen wurde. Sollte die Ursache davon nichts als die Wärme sein, welche durch die Vermischung

des Zuckers oder der im Honige enthaltenen Salze mit dem Wasser entsteht, so könnte ein Hof schwerlich zustande kommen, wenn es viele Grade kalt ist und die sich am Fenster niederschlagenden Dünste rasch gefrieren; er entsteht aber bei so großer Kälte dennoch und zwar ebenso schnell und in derselben Größe. Wird nun die Anhäufung von Wasserdampfniederschlägen an den betreffenden salzhaltigen Auflagerungen auf den inneren Fensterscheiben dadurch gesteigert, daß man in der kühlen Jahreszeit zu dem Korridorfenster, woran diese Beobachtungen sich ja am besten machen lassen, plötzlich viel feuchte Luft zuläßt, z. B. die Küchenthüre öffnet, dann schwellen die aufgelegten Honigtropfen oder die Fliegenkleckse so stark auf, daß sie von dem angezogenen Wasser nicht mehr alles tragen können: Was zu viel geworden ist, läuft in langem Strome herunter und — ein Regen ist da.

Um nun auch die Hofbildung bei Temperaturen unter Null bequem beobachten zu können, nahm ich einen Amboß, der in der Nacht bei mehreren Graden Kälte draußen vor dem Fenster, mit der polierten Fläche nach unten, gestanden hatte, sowie es Tag wurde, herein in das nur 12° warme Zimmer und setzte ihn, jetzt mit der blanken Fläche nach oben, vor mich auf das Präpariermikroskop, das ein paar Stunden gleichfalls draußen gestanden hatte. Während nun der ganze Amboß sofort beschlug und der Beschlag rasch weiß wurde, weil er zu amorphen, sehr kleinen Halbkugeln gefror, bildeten sich auf den Staubteilchen, welche an der polierten Oberfläche von ihrer Berührung mit der Sohlbank hängen geblieben waren, nicht minder auf kleinen Rostflecken und Kritzelchen, schnell Eisvegetationen, jene zierlichen Vereinigungen von oft nur hemiedrischen Krystallen, z. B. Rhomboedern oder auch Würfeln und Tetraedern, die auf erhabenen Punkten oder Kanten an der Innenfläche der äußeren Fensterscheiben so regelmäßig erscheinen, nachdem man das innere Fenster geöffnet und nach kurzer Zeit wieder geschlossen hat (Kap. 20, Fig. 96 c d e h i k). Ursprünglich reichten die Eiskügelchen auf dem Amboße bis an die sich mit Krystallen bedeckenden Stellen ebenso wie der Tropfenbeschlag bis an den Honig; sehr bald indessen, d. h. nach $^1/_2$—1 Minute entstand um jene der Hof, wie um die sich mit Krystallen krönenden Erhabenheiten der eiskalten Fensterscheibe, nachdem sie in der soeben angegebenen Weise behandelt worden war. Wächst indessen der Hof nicht mehr, so erkennt man deutlich, daß die Menge und Größe der Eiskrystalle in seinem Mittelpunkte zugenommen, daß dieser also offenbar das bekommen hat, was um ihn herum verschwand. Schon augenblicklich nach Zuführung von Wasserdampf zu einem Kältezentrum läßt sich ein sehr breiter Hof, nämlich rings um einen Schneestern, beobachten, der, nachdem er draußen vor dem Fenster auf einen eiskalten Objektträger gefallen war, im ungeheizten Zimmer schwach behaucht wird. Ja, man kann sogar sehen, daß, wenn eine größere Menge Schnee, die, behaucht, sich gleichfalls mit einem Hofe umgiebt, unter 15—30facher Vergrößerung bei abgelenktem Atem im kalten Zimmer auftaut, ganz unten am Rande der zusammenschmelzenden Masse, wo sie also am kältesten bleibt, anfangs Nebeltröpfchen auf sie zueilen und in ihrem Laufe größer werden, dagegen etwas später Nebeltröpfchen sich rasch von ihr fortbewegen, förmlich abspringen und unterwegs kleiner werden: Die letzteren führen

Abstoßung und Verdunstung, die ersteren Anziehung und Kondensation vor Augen.

Am sichersten aber erklärt sich die Hofbildung, wenn wir bei der hinter dem Vorfenster gefrierenden Außenfensterscheibe bleiben, weil hier, nachdem das erstere wieder zugemacht wurde, nicht die Komplikation vorhanden ist, daß, wie beim hereingenommenen Amboße, die sich beeisende Fläche fortwährend wärmer wird, und wollen wir uns der Einfachheit wegen an die Bildung eines runden Hofes halten. Das Zentrum C desselben sei eine $^1/_{10}$ mm große Erhabenheit auf dem Glase, und diese wirkt, der Feinheit der Sache gemäß vergrößert vorgestellt, wie eine Spitze, wird also, nachdem das den Wasserdampf hereinlassende Vorfenster geschlossen worden ist, schnell viel kälter als die ebene Glasfläche um sie herum. Damit ist eigentlich schon alles gesagt. Denn die so schnell sich wiederabkühlende Spitze wird durch den raschen Temperaturwechsel verhältnismäßig stark, und die Ebene, die sich weniger erwärmte, nur schwach elektrisch; beide ziehen also die schon im Zwischenfensterraume, wo häufig nur ein paar Grade Wärme sind, entstehenden Wassertröpfchen an, und zwar die Spitze mehr von ihnen als die Ebene. Folglich ist die Thaubildung, die Kondensation der Wasserdämpfe, gleichfalls eine elektrische Erscheinung. Nachdem nun C aus der Ferne, so weit seine Kraft reicht, Wasserdampf an sich gerissen hat, elektrisiert es seine nächste Umgebung, die bereits am Glase hängenden Thautröpfchen, in ähnlicher Weise, wie der Spiritustropfen Sp den kleinen Wassertropfen W in Figur 61, macht sie gleichnamig und lockert den Zusammenhang einzelner Teilchen, beschleunigt also die Verdunstung. In dem Maße aber, als die in den Zwischenfensterraum hereingelassene Wärme sich verliert und C immer mehr abkühlt, wird dieses noch stärker elektrisch, wirkt mithin bis zu einer gewissen Grenze in immer größerer Entfernung. Auf diese Weise setzt sich die Anziehung, Abstoßung und Zerschlagung des molekularen Zusammenhanges, die mit Verdunstung endigt, fort, soweit die Wirkungsweite von C reicht, und wird der Umkreis um dasselbe leer, während es selber auch noch den Wasserdampf angezogen hat, der von der Verdunstung der elektrisierten Eisperlen rings herum herrührt. Ein schönes Spiel einfachster Wechselwirkungen, die vor unsern Augen ablaufen! Allein es bietet noch mehr, denn es bestätigt die alte Vermutung, daß, auch wo kein elektrischer Strom zugeleitet wird und keine Zersetzung geschieht, die Krystallisation ganz allgemein eine Elektrizitätswirkung ist, nämlich nur da stattfindet, wo verhältnismäßig hochgradige Elektrizität rasch auf einer für Temperaturabfall besonders günstigen Stelle entsteht. Denn wäre das nicht der Fall, so würden doch auch die auf das ebene Glas auftreffenden Wasserdampftröpfchen krystallisieren. Ferner bildeten sich, gleichwie hier am gefrierenden Fenster im Großen, auch bei der Krystallisation unter dem Mikroskope dieselben Höfe. Und wenn wir eine Voltasche Platte, auf welche ein paar flache Tröpfchen einer konzentrierten Salz- z B. Jodkaliumlösung gebracht wurden, befächeln, so sehen wir Ursache und Wirkung beisammen. Die Platte zeigt sich elektrisch und die Lösung krystallisiert. Ist aber plötzliche und verhältnismäßig starke Elektrizitätserregung an Ort und Stelle die Vorbedingung

der Krystallisation, so erklärt sich auch, daß bei Gewittern so regelmäßig Hagel entsteht; denn einesteils wirbelt der aufkommende Sturm Unmassen von ursprünglich sehr warmen Krystallisationszentren in Gestalt von allerhand Staubteilchen vom heißen Erdboden in die kalt und immer kälter werdende Höhe, und anderenteils nimmt ja gleichzeitig und mit jedem Augenblicke das Material zum Krystallisieren ringsumher in ungeheurem Grade zu. Da nun die Nebel-, also schließlich auch die Regentropfen sich in der Regel um Fremdkörperchen bilden, wozu natürlich auch unsere atmosphärischen Globuliten, die sich in den Tröpfchen oder Tropfen alsbald auflösen, gehören, diese Art der Verdichtung des Wasserdampfes oder Wassergases aber, wie wir an der Fensterscheibe sahen, gleichfalls eine Elektrizitätsleistung ist, so stimmt unsere Hagelbildungstheorie ersichtlich überein mit den vielen in dieser Hinsicht festgestellten Thatsachen.

Auch das gemeine atmosphärische Eis, der Schnee, kann nicht wesentlich anders zustande kommen. Daher ist es in einer Abhandlung über die unmittelbaren Wirkungen der Elektrizität unbedingt erforderlich auf diese Gebilde, die oft wochen- und monatelang große Länder bedecken, sodaß man daselbst nichts sieht als Krystalle, einzugehen, und das umso mehr, als es hier besser wie anderswo möglich ist, den Entwicklungsgang dieser fraglichen Elektrizitätsprodukte zu beobachten.

Kapitel XVIII.

Die Schneekrystalle.

Jeder Schneekrystall entsteht aus einem Eisglobuliten. Künstliche Schneesterne und die Ursachen der Krystallisation des Wassers. Das Gefrieren eines Wassertropfen. Die Krystalle sind überhaupt Kraftleistungen der Elektrizität. Die Strahlenecken der Schneesterne sind elektrische Anziehungszentren.

Im Winter ist die Luft in der Regel voll von überkalteten Nebeltropfen, und können wir dieselben, wenn es schneit, fast jeden Tag breitgeschlagen und gefroren auf den Schneesternen wie kleine Beeren oder Warzen sitzen sehen, die bisweilen zu ganz regelmäßig sechseckigen dicken Scheibchen werden. Vgl. mittelst Lupe die schönen Mikrophotographieen von Dr. med. R. Neuhauß in Prof. Dr. G. Hellemann's ausgezeichnetem Werke Schneekrystalle, Berlin 1893; namentlich den großen Stern in der Mitte von Tafel I, dann No. 1 und No. 2 auf Tafel II und a und b unserer Figur 77.

Seltener, in jedem nicht allzumilden Winter aber doch mehrere Male, beobachtet man nun, daß von der einen oder anderen dieser aufgefrorenen kleinen Eisperlen aus ein halber Stern sich mehr oder weniger senkrecht zur Ebene des fertigen zu entwickeln begann, indem wegen Mangel an Platz eben nur zwei oder drei Strahlen zur Ausbildung kommen konnten. Und wenn man die gewöhnlichen Schneesterne genauer untersucht (ich that dies in den Wintern von 1889 bis 1892, wenn es schneite, jeden Tag), indem sie mit einem fein zugespitzten, eiskalten Holzstäbchen unter der Lupe aufgehoben und aufs Hohe gestellt werden, so läßt sich ohne Mühe erkennen, daß ihre Mitte wie eine halbe oder mehr oder weniger längliche Perle hervorragt; ja regelmäßig zeigt sich, daß vor allen die zartesten und kleinsten sechseckigen Blättchen, die erst das Mittelstück für einen späteren Stern abgegeben haben würden, **doppelt, daß sie Zwillinge sind, aber durchaus nicht auf einander aufliegen,** sondern sich in keinem andern als im Mittelpunkte berühren, und daß dieser eben eine kleine Eiskugel oder Eiswalze ist, welche gleichsam zur Achse wird, auf welche zwei Rädchen meist äußerst dicht an einander geschoben sind (Fig. 70). Auch die hohlen, sechsseitigen glatten

Fig. 70.

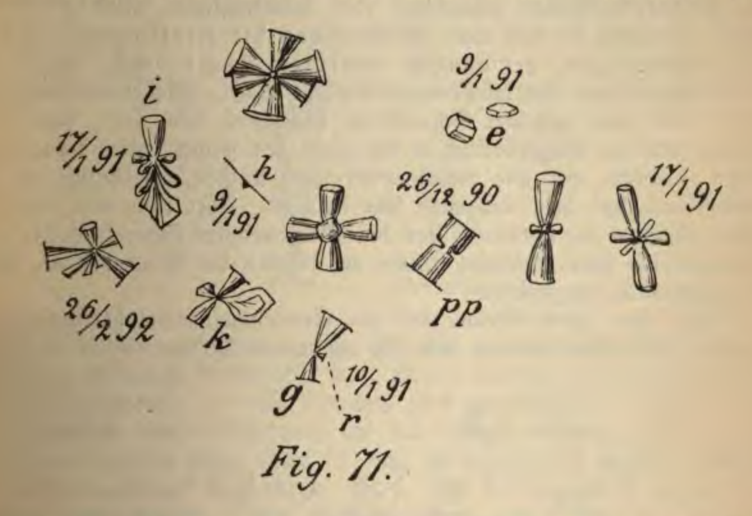


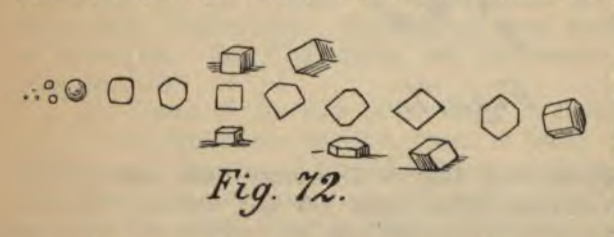
Fig. 71.

Pyramiden, die gewöhnlich einige Tage ehe Thauwetter kommt, massenhaft und in außerordentlich verschiedenen Größen fallen, sieht man, und zwar bis zu acht Stück von einem gemeinsamen Mittelpunkte nach den verschiedensten Richtungen ausgehen und Kugelsterne bilden, deren Strahlen sich so üppig, aber doch im hexagonalen Typus entwickelten (Fig. 71). Und die abgerundeten, bald längeren bald kürzeren Säulen, z. B. pp, die immer zugleich mit den Pyramiden fallen, sind im Prinzipe dasselbe wie die beiden parallelen

Scheiben, nur daß, jedenfalls weil Wasser in Ueberfluß vorhanden war, statt der dünnen Blättchen, von einem gemeinsamen Eispunkte aus in entgegengesetzter Richtung zwei sechsseitige hohle Pyramiden entstanden, deren jede sich mit einer zylindrtschen Eishülle umkleidete (Kap. 19 Fig. 85); folglich ist das Ganze kein echtes, sondern nur ein Pseudoprisma, überhaupt nicht mehr eine einfache Krystallform, sondern ein in einen Zylinder verwandeltes Pyramidenpaar. Die noch sichtbaren Grundflächen der beiden Pyramiden sind aber bedeckt mit je einer hexagonalen Tafel, die bisweilen blumenkronartig zu einem sechsblättrigen Sterne ebenso auswächst, wie die analoge Tafel, womit die Basis einzeln fallender oder zu Kugelsternen vereinigter Pyramiden bedeckt ist.

Mehrere Beispiele zeigen also mit Bestimmtheit das, was zunächst dargethan werden sollte, nämlich, **daß auch die freie Krystallisation des Wassers von einem einzelnen Punkte ausgeht,** der, weil er entweder Eis oder überkaltetes Wasser ist, einen erheblich anderen Temperaturgang als die Wassergasmoleküle haben muß, sodaß diese und jener ungleichnamig elektrisch werden, einander gegenseitig anziehen und sich zu so überaus schönen Gestalten gruppieren. (Vgl. die Eispunkte an den Fensterscheiben S. 154.) Da aber die zentrale Perle vorzugsweise an zwei einander diametral entgegengesetzten Flächen und zwar zu zwei parallelen sechseckigen oder sechsstrahligen, meist homologen Platten auswächst, so darf man schließen, daß die Zentralperle erst zu einer sechsseitigen, gewöhnlich niedrigen Säule ward, ehe sie die polaren Appositionen, ihre tafelförmigen Aufsätze erhielt. Massenuntersuchungen großer, aufs Hohe gestellter Schneesterne bestätigten dies auch; doch wird aus dem zentralen Eisglobuliten in der Regel kein solides, echtes hexagonales Prisma, sondern, wie wir weiter unten sehen werden, gewöhnlich nur ein Pseudoprisma, das hohl und meist sehr klein ist. Aber eben weil der Ausgangs-, gleichsam der Kernpunkt von den allergemeinsten Schneekrystallen eine so eigentümliche Form bekommt, wurde auf dieselbe, das Pseudoprisma, schon oben geflissentlich hingewiesen.

Legt man jeden Abend, wie zur Gewinnung atmosphärischer Salzkrystalle, Objektträger aus, so läßt sich am andern Morgen, wenn es gereift hat, oft die ganze Entwicklungsgeschichte der Krystallisation des auf diese Gläser gefallenen Wassers verfolgen. Worum es sich dabei zuvörderst handelt ist nun, daß zu unterst auf dem Glase, also unmittelbar auf ihm, kaum blutkörperchengroße Eisglobuliten zwischen viel größeren Eisperlen liegen, die vielfach Uebergangsformen zu Krystallen und teilweise schon Würfel und hexagonale Prismen (Fig. 72), auch hohle, umge-


Fig. 72.

kehrte vierseitige, meist noch unvollkommene Pyramiden (r r′ r″ Fig. 73), Rhomboeder, oder quadratische, rhombische, und fünf- bis sechsseitige Tafeln sind und, weil sie die so sehr viel kleineren Globuliten meist verdecken, offenbar später entstanden als diese, wenn nämlich der Wassergehalt der Luft, am Morgen oder überhaupt später, größer wurde. Gegen den Rand des Objektträgers hin erheben sich aber, weil hier die größte Kälte herrschte, Pyramiden, die oft mehr als sechsmal höher wie jene Uebergangsformen hinauf in die Luft ragen, und zwar umgekehrt auf langen oft unglaublich feinen Stielen senkrecht stehen und von je einem minutiösen Eiskügelchen ausgehen, immer

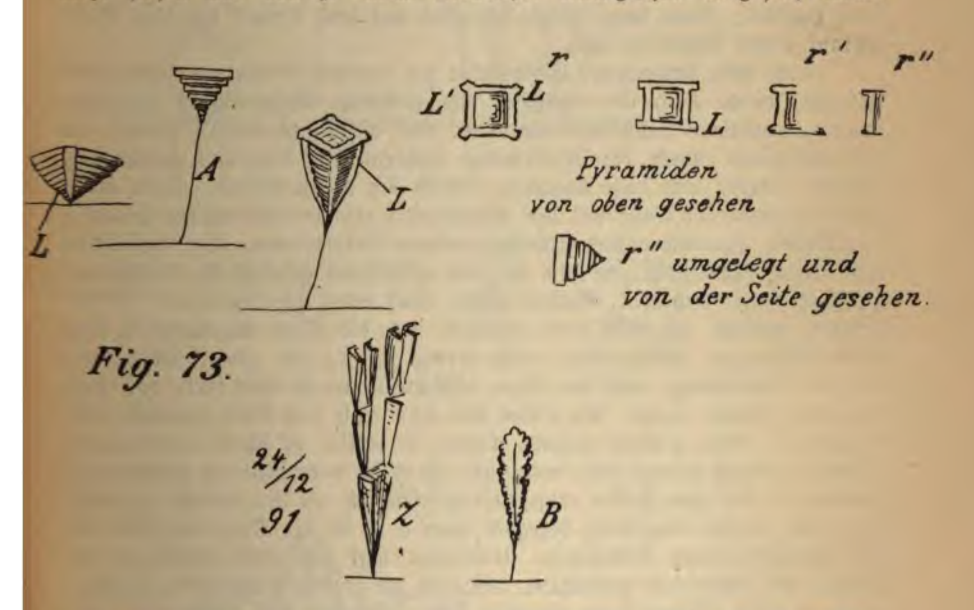


Fig. 73.

hohl und meist zartwandig, sehr oft aber nur viereckig sind (Fig 73a), Trichter, die merkwürdigerweise keine ebenen, sondern treppenförmige Seitenwände haben, also ruckweise besonders stark gewachsen sein müssen — höchst eigentümliche Krystallbildungen, die den oben genannten, frei in der Luft entstandenen Pyramiden (Fig. 71) nur im allgemeinen ähneln. Diese umgekehrten, gestielten Pyramiden, die so recht den Rauhfrost charakterisieren, zeigen aber noch die weitere Eigentümlichkeit, daß sie nur da, wo sie weit auseinander, oder, wie am äußersten Rande des Objektträgers, fast ganz frei stehen, vollkommen auswachsen, dagegen im dichten Bestande, nämlich gegen die Mitte des letzteren hin, häufig nur drei, zwei und eine halbe oder nur zwei Wände (Fig. 73r′), ja manchmal blos eine einzige Wand haben (r″), sich also, wie die Baumkronen im Walde, nur auf derjenigen Seite vollkommen ausbilden, wo sie daran nicht von der Nachbarschaft gehindert wurden. Dagegen entwickeln sich diese an einer Seite offen ge-

bliebenen Pyramiden bei starkem Rauhfroste oft über einander (Z) und verdoppeln ihre Zahl auf jeder Etage. Endlich finden sich bei schwächerem Rauhreife auf gleichfalls äußerst dünnen Stielen senkrecht stehende Blättchen (B), die also wieder aus einem einzigen Eispunkte hervorwuchsen und die größte Aehnlichkeit haben mit den Strahlen der künstlichen Schneesterne (Fig. 74). Daher muß man, um die Punkte genau sehen zu können, woraus die so enorm feinen Stiele dieser Körper hervorwuchsen, den Eiswald, der viel zu hoch ist als daß man ohne weiteres mit scharfer Lupe von oben bis auf seinen Grund hinab sehen könnte, dadurch etwas niederlegen, daß man mit der ein wenig an den Mund gehaltenen Holzsonde wagerecht darüber hinfährt; denn dann biegt sich alles auf dem Träger um wie Gras, worauf etwas Schweres lag.

Daß diese sonderbaren Eiskrystalle bei trockener Berührung leicht fortspringen, wurde Seite 66 erwähnt. Als elektrische Abstoßung ist dies aber dann zu verstehen, wenn man annimmt, daß die Spitze der Holznadel und die Eiskrystalle durch die Erwärmung während des Versuches gleichnamig elektrisch werden und diese Annahme erweist sich als zutreffend. Denn wenn man ein unter der Lupe mit der Metallnadel zusammengetragenes Häufchen von kleinen Pyramiden und Stückchen anderer Formationen, oder eine natürliche kleine Schneeflocke, die mit auf das Objektglas gefallen ist, mittelst der Holzsonde bei mehreren Graden Kälte (auf dem Korridore am offenen Fenster) berührt, so stiebt das Häufchen bez. die Flocke augenblicklich nach allen Richtungen auseinander; auch springt häufig ein ganzer Schneestern nach der Berührung unter der Lupe blitzschnell und so weit fort, daß man ihn kaum wieder findet. Da dieser wie jene nach dem Falle zunächst vollkommen in Ruhe gelassen worden waren, so müssen sie schon *vor* der Berührung elektrisch gewesen sein; denn wären sie es nur durch Reibung geworden, so würden sie, weil zum Reiber entgegengesetzt elektrisch, an ihm hängen geblieben sein, und dieser Anziehung begegnet man c. p. in der That viel öfter als der explosionsartigen Abstoßung. Uebrigens läßt sich unter günstigen Umständen gar nicht selten beobachten, daß auch die großen Schneeflocken draußen während ihres Niederfallens einander heftig anziehen und abstoßen.

Allein man kann noch einen Schritt weiter gehen und **sogar experimentell nachweisen,** *daß die Schneesterne aus bez. auf je einem Eisglobuliten entstehen, der das Produkt lokaler, ganz besonders rascher Abkühlung ist und sich durch molekulare Apposition schnell in ein Scheibchen verwandelt, das im Nu sechsstrahlig auswächst.*

Nötig ist hierzu ein ganz stiller Tag mit 6–8° Kälte (der Winter 1891/92 gab dazu oft Gelegenheit), und daß man ohne warm zu sein, sich in einem seit langer Zeit nicht geheizten Zimmer ans offene Fenster setzt, nachdem das Präpariermikroskop nebst einigen Objektgläsern und einem Glasstäbchen mindestens doch $^1/_2$ Stunde der draußen herrschenden Kälte ausgesetzt worden waren, und ferner, daß das in einem Glase auf dem Fensterbrette stehende Wasser, wovon eben ein Tropfen unterm Mikroskope beobachtet werden soll, oberflächlich etwas kälter ist wie in der Tiefe, d. h. oben ca. — 0,5° und unten 0° hat.

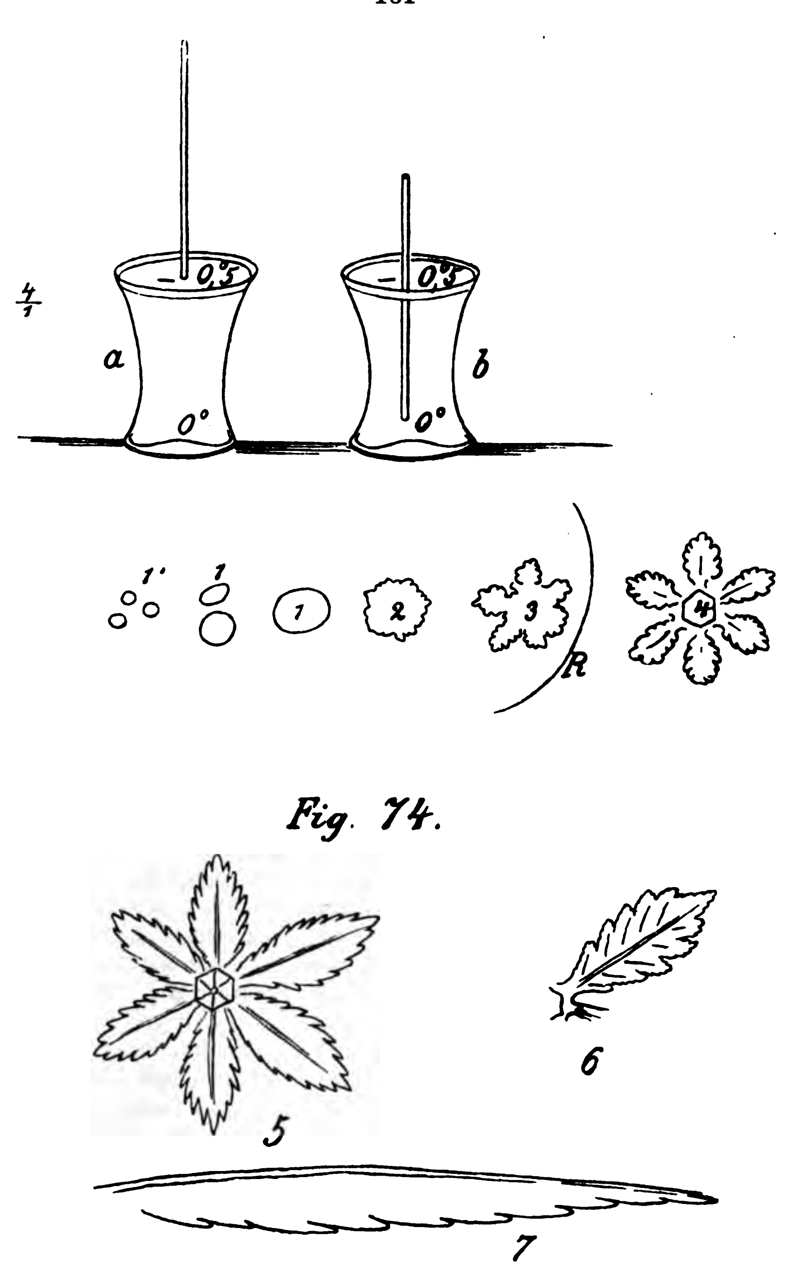


Fig. 74.

Wird nun das Ende des Glasstabes nur etwa $^1/_2$ cm tief in das Wasser eingetaucht (Fig. 74a) und der daran hängenbleibende Tropfen auf

das Objektglas gesetzt, so kann man an ihm unter der Lupe durchaus nichts besonderes wahrnehmen. Sowie aber der Glasstab nicht blos oberflächlich, sondern tief, also bis dahin, wo das Wasser wärmer ist, eingetaucht ward (Fig. 74 b), so sieht man auf dem aufgelegten Tropfen augenblicklich einige runde, dünne Eisscheibchen von ca. $^1/_{50}$ mm Durchmesser (Fig 74, 1'); dieselben wachsen zusehends und ehe man sichs versieht, hat ihr Rand kleine, unregelmäßige Läppchen (2) bekommen; fortwährend wachsend ist er wieder einen Augenblick später erst undeutlich, dann deutlich und gleich darauf so ausgesprochen sechsstrahlig geworden, wie bei einem gefallenen Schneesterne, während die einzelnen Strahlen selber gelappt sind und in der Mitte sich ein den letzteren entsprechendes Sechseck gebildet hat. So entstehen auf dem einen Wassertropfen oft mehrere und z. Th. so vollkommene Eissterne, wie sie Figur 74, 5 darstellt, und ist ihre etwaige Unregelmäßigkeit nur die Folge von Platzmangel, weil der sich entwickelnde Stern dem Tropfenrande R oder den Strahlen eines anderen zu nahe kommt. Uebrigens zeigen sich die Strahlen bei recht vollkommener Entwicklung häufig doppelt gefiedert (6), und besitzt in diesem Falle jedes Blatt nicht blos einen erhabenen Hauptnerv, sondern auch zarte sekundäre Nerven — ganz wie bei den natürlichen Schneesternen; und wenn die Mittelscheibe eines Sternes am Rande des Tropfens liegt, so schießen von dieser meist nur ein paar, dafür aber riesig lange Strahlen hervor, die fast über den ganzen Tropfen reichen, jedoch nur halbseitig entwickelte Blätter sind (Fig. 74, 7), gleich gezähnelten Messern mit dem Rücken nach oben. So entstehen, wie man z. B. in einem Uhrglase sehen kann, die bekannten, oft fingerlangen erhabenen Strahlen, die vom Rande gefrierender Pfützen nach deren Mitte hin gehen.

Aber wo kommen denn die kleinen, erst kreisrunden Blättchen, die zur sechseckigen Mittelplattte des Eissternes werden, her? Um darüber vollkommen klar zu werden, spitzte ich das Ende eines Pinselstieles (eine Metallspitze wird zu rasch warm!) möglichst fein zu und senkte es — natürlich unter denselben äußerlichen Bedingungen, d. h. am offenen Fenster bei ca. 7° Kälte, in einen soeben aufgelegten eiskalten Wassertropfen, der, was sich ja leicht machen läßt, keine Eisscheibchen hatte. Sofort nach dem Eintauchen waren sie in Menge da, und wurde die Holzspitze wieder herausgehoben, so saßen an ihr rings herum unzählige, kaum blutkörperchengroße Eisbeeren, die teilweise über einander lagen und zusammenklebten (Fig. 75); und senkte ich die Sonde wieder in das Wasser, so erschienen auf der Wasseroberfläche augenblicklich die oben beschriebenen Eisscheibchen. Offenbar waren an den mikroskopisch feinen Spitzen und Kanten der Holzfasern, weil sie am kältesten wurden, auf der Stelle jene Eisglobuliten entstanden, die sich schon auf der ersten Seite dieses Kapitels als die Ausgangspunkte der Schneekrystalle erwiesen; alsdann hatte sich auf mehreren von diesen Kügelchen beim Herausheben der Holznadel, weil sie dabei schnell kälter wurde, blitzschnell je eines der Scheibchen gebildet (S. 170), und da sie auf ihrer Unterlage



Fig. 75.

noch nicht festgefroren waren, so wurden sie von dem bewegten Wasser abgespült.

Daher gelingt es auch auf einem eiskalten Wassertropfen durch einfache Berührung seiner Oberfläche mit der äußersten Spitze einer sehr feinen Holznadel augenblicklich und zwar unter der Bedingung einen vollkommen sechsstrahligen gefiederten Eisstern um den berührten Punkt zu erhalten, daß man jene, die Holzspitze, vorher in Wasser von 0° eingetaucht, gut abgewischt und eine kleine Zeit ans offene Fenster, wo noch etwa — 1° ist, frei hingelegt hat. Da sitzen an dem Endchen zwar keine Globuliten, aber es ist durch die rasche Verdunstung der Feuchtigkeit steif gefroren, und wenn es nun den aufgelegten, scheibchenfreien Wassertropfen unter der 15fachen Vergrößerung dadurch minimal berührt, daß man das Stäbchen möglichst senkrecht darauf setzt, so wird der berührte Punkt der Wasserfläche plötzlich noch mehr abgekühlt. Gefriert mehr oder weniger überkaltetes Wasser sogleich, wenn Staub, z. B. ein Fäserchen darauf fällt, so rührt dies also einfach daher, daß das an dem einen oder andern Ende von ihm emporgestiegene Wasser sofort viel kälter wird wie die glatt gebliebene Wasseroberfläche.

Schnelle Abkühlung des Wassers an einem einzelnen Punkte stellt sich also überall als die Ursache seiner Krystallisation, die oft weit und immer rasch um sich greift, heraus. Damit ist aber zugleich auch eine der Entstehungsursachen der Elektrizität gegeben, und eben dadurch, daß die Moleküle des betreffenden Stoffes — es ist ja in der Regel eine Flüssigkeit — um einen Punkt, der auf einmal viel kälter wird, stärker elektrisch werden, müssen sie von diesem, die benachbarten von den ersteren u. s. f. stärker angezogen, in einer bestimmten Ordnung zusammengeschart und zu jenem Ganzen mit bestimmter Form verdichtet werden, das ein Krystall heißt und — selber wieder so ungemein temperaturempfindlich ist. **Immer und überall trifft die Hauptbedingung der Krystallisation mit einer der Elektrizität erregenden Ursachen zusammen, nämlich mit schneller Abkühlung.***) Da nun aber die stärkste Elektrizität dadurch zustande kommt, daß nicht bloß die eine von ihren beiden Entstehungsursachen, nicht die schnelle Abkühlung oder Erwärmung allein gegeben ist, sondern daß beide rasch hintereinander auftreten, so muß folgerichtig dann auch die Krystallisation leichter bez. vollkommener vor sich gehen. Als wir bei dem zuerst genannten Versuche (Fig. 74a) auf einem Wassertropfen Eis zu erzeugen, keinen Erfolg hatten, da wurde der am Glasstabe hängenbleibende Wassertropfen nur ein wenig, nämlich auf seinem Wege bis zum Objektglase, abgekühlt; beim zweiten Versuche aber, wo ich denselben Stab bis in die wärmere Tiefe des Wassers senkte und wieder herauszog, wurde sein eingetauchtes Ende erst erwärmt, und beim Herausziehen sowie in der

*) Daß auch in dem Falle, wo zwei Lösungen, die sich gegenseitig zersetzen und einen neuen krystallisierbaren Körper bilden, durch Vermittelung einer porösen Scheidewand zu einander treten, die Krystallisation durch Abkühlung zustande kommt, ist sogleich verständlich, wenn man sich an die große Verdunstungskälte des nassen Löschpapieres erinnert, das wir uns aus Watte herstellten. (Vgl. S. 134).

Luft wieder und zwar erheblich mehr als zuvor abgekühlt; folglich hatte das an ihm hängenbleibende und auf das Objektglas gelegte Wasser zweimal Gelegenheit gehabt elektrisch zu werden, und darum waren auf ihm sofort die kleinen Eisscheiben da, die trotzdem daß – wahrscheinlich aber, wie wir sogleich sehen werden, auch weil — der Tropfen während der Beobachtung wieder etwas wärmer wurde, so schnell und so riesenhaft wuchsen.

Viel besser können wir uns nämlich davon, daß bei verstärkter Elektrizitätserregung auch verstärkte Krystallisation erscheint, durch die scheinbar paradoxe Thatsache überzeugen, daß ein am offenen Fenster bei der bewußten Kälte auf ein mindestens bis zu 0° abgekühltes Objektglas gesetzter Eiswassertropfen, der keine Scheibchen hat, minutenlang nicht anders werden will und offenbar überkaltet ist, sofort oder fast sofort krystallinisch gefriert, nachdem er mehr oder weniger kräftig — behaucht wurde. Nach der kurzen Erwärmung, die der Hauch bewirkte, erfährt der Tropfen nämlich infolge der sehr gesteigerten Verdunstung einen heftigen Temperatursturz. Die Folge davon ist, daß er, wie wir an Leitern (S. 51) und an Nichtleitern (S. 52) nachgewiesen haben, elektrisch wird; weil er aber gerade da, wo die Elektrizitätserregung am stärksten ist, zuerst, nämlich vom Rande aus, wie in der Regel auch jedes stehende Gewässer, gefriert, so schließe ich, **daß die Elektrizität die Ursache und die Krystallisation die Wirkung ist.** (Von der Erschütterung, die ja manchmal als erste Krystallisationsursache angegeben wird, kann das plötzliche Gefrieren unseres Wassertropfens schon darum nicht abhängen, weil die durch den Luftstoß am meisten bewegte Stelle, die Höhe der Konvexität, niemals, sondern, wie gesagt, ausnahmslos sein Rand, der bei der Behauchung so gut wie ruhig bleibt, die ersten Anfänge der Krystallisation zeigt). Und ähnlich wie der überkaltete Wassertropfen nach der durch den Hauch gesetzten Erwärmung und Abkühlung so leicht krystallisiert, wird auch das Wachstum der künstlichen Schneesterne durch die schwache Wiedererwärmung des Wassertropfens bei seiner Besichtigung, worauf oben angespielt werden sollte, befördert werden.

Allein die Annahme, wonach die Krystallisation des Wassers auf einem elektrischen Verdichtungsprozesse beruht, steht doch, wird man einwenden, in vollkommenem Widerspruche damit, daß das Eis viel leichter als das Wasser ist, und daß dieses sich beim Gefrieren, wie alle Welt weiß, ausdehnt! Diese Ausdehnung rührt aber, mit Verlaub, durchaus nicht vom Wasser her, sondern im Gegenteil zieht sich dasselbe während des Gefrierens ohne allen Zweifel zusammen: **denn es macht dabei seinen Gasen Platz, wird durch diese, wenn es noch festweich ist, aufgetrieben** und darum oder doch vorzugsweise darum zeigt sich das Eis voluminöser und leichter als das Wasser.

Um zu erfahren, wie es sich in dieser Bewegung verhält, ließ ich bereits im Winter 1888/89 in verschieden geformten, großen und kleinen Gefäßen gewöhnliches Brunnen- oder auch destilliertes Wasser gefrieren, fand aber sehr bald, daß das alles nicht fein genug ist um klar zu sehen, sondern

daß man den Akt des Gefrierens mikroskopisch beobachten, also kleine Tropfen auf dem Objektglase unter dem Präpariermikroskope gefrieren lassen müsse. Dies geschah bei möglichst hoher und trockener Kälte draußen auf der Sohlbank des Fensters, und zeigte sich dabei an den mehr oder weniger überkalteten Tropfen Folgendes: 1. Gleich in dem ersten schmalen Eisringe um den Tropfen lassen sich feine netzförmig mit einander verbundene, hauptsächlich aber nach innen gerichtete Luftkanäle erkennen, die, je nach der Beleuchtung, weiß oder schwarz erscheinen; 2. diese Kanäle werden in dem Maße, als der Eisring sich verbreitert, also höher hinauf reicht, nicht nur länger, sondern auch weiter und streben größtenteils nach der Mitte des Tropfens; 3. während die Kanäle zentripetal wachsen, ist die Luft in ihren jüngsten Teilen **nicht ruhig, sondern in derartig lebhafter Bewegung, daß es schwer hält, die Einzelheiten zu verfolgen**; 4. je weiter die Eisbildung fortschreitet, je mehr sich also das offene Wasser in der Mitte des Tropfens verkleinert, um so heftiger wird die Bewegung um dasselbe herum: **Die Luft drängt nunmehr deutlich nach oben und außen, wird ausgestoßen und zwar sehr bald so stürmisch, daß die höher und höher hinauf steigende Zone des jüngsten Eises förmlich zu kochen scheint**; 5. **infolgedessen wird das zuletzt sich bildende Eis hoch in die Höhe gehoben, sodaß der erstarrende Berg sich oben zuspitzt und einen wahren Auswurfskegel mit kraterartig zerrissenem Gipfel bekommt** (Fig. 76). Denn mit Macht und meist binnen wenigen Sekunden ward die im Wasser unsichtbar fein verteilte Luft, wie wir an der Unterfläche und am Rande des abgenommenen Eisplätzchens bei 100facher Vergrößerung sehen, zuerst in blutkapillarenartig feine, mit einander vielfach anastomosierende Röhrchen zusammengetrieben und dann in immer weiter werdende, ausnahmslos nach der Mitte und nach oben gerichtete Gefäße gepreßt, zwischen denen fast auf jeder Höhe neue Kapillaren entstanden sind, die wiederum zu Gefäßen auswuchsen und hier oder dort in größere einmünden. Was zwang denn aber die Luftteilchen ihre so äußerst innige Vermischung mit dem Wasser aufzugeben und sich in solchen Mengen anzusammeln, daß man sie schließlich mit bloßen Augen sehen kann?


Fig. 76.

Beim Gefrieren des Tropfenrandes, der ja, weil er am stärksten abkühlt, zuerst elektrisch wird, sind die sehr vielen Punkte desselben, die nach der Behauchung oder überhaupt zuerst am kältesten werden, für ihre bewegliche Umgebung Anziehungszentren; demzufolge legen sich zunächst die in ihrer Nähe befindlichen Wassermoleküle so eng um sie herum, daß zwischen ihnen für die Moleküle der verschiedenen, vom Wasser absorbierten Gase kein Raum mehr bleibt. Die Absorption ist natürlich auch eine elektrische Erscheinung, weil das Wasser bei seiner Verdunstung fortgesetzt kälter, bei jeder Einver-

leibung von Gas aber wieder wärmer, dann wieder kälter wird u. s. f., und überall, wo die Wasserverdunstung sehr lebhaft erfolgt, quittiert ja die entstandene Elektrizität schon für unsern Geruchsinn in angenehmster Weise mit Umwandlung des gemeinen Sauerstoffes in Ozon — beim Bleichen und Trocknen der Wäsche an der Luft, bei plötzlicher Aufklärung nach Regen, an Wasserfällen, am Strande der bewegten See u. dergl. m. Da nun die Eisbildung nicht überall mit einem Male geschieht, so können die mehr oder weniger verdichteten Gasmoleküle vorerst noch ausweichen. Sehr bald aber, wenn nämlich der enge Zusammenschluß der Wassermoleküle dadurch immer größere Dimensionen annimmt, daß der elektrische Ring sich infolge der beständigen Temperaturänderung fortwährend erneuert bez. verstärkt, wird der Platz für die Gasmoleküle so knapp, daß sie sich einander selber nähern, an vielen Punkten anhäufen müssen und schließlich in der festwerdenden Eismasse ebensoviele mikroskopisch kleine Kugeln, also Luftbläschen bilden. Das sind die Anfänge der Kapillaren. Denn wenn das Gefrieren weiter fortschreitet, das Eis also nach oben zu immer dicker wird, so bleibt für die allerwärts zwischen den Wassermolekülen vertriebenen Gasmoleküle nur übrig, sich mit den Primitivbläschen zu vereinigen; diese können sich aber, weil das alte Eis nicht mehr nachgiebt, nur in der Richtung nach oben, wo das junge, noch weiche und plastische liegt, vergrößern, und so entsteht aus jedem Bläschen ein Kanal, der nicht nur immer länger, sondern auch weiter und weiter werden muß.

Hiernach hat sich das Wasser beim Gefrieren zusammengezogen, und ebenso, wie es dabei seine Salze ausstößt, auch seine Gase ausgepreßt.

Daß aber die Eisbildung auf einer Verdichtung des Wassers beruht, lehrt auch die offenkundige und im höchsten Grade auffallende physikalische Begleiterscheinung, nämlich die bekannte Thatsache, daß die Temperatur des überkalteten Wassers beim Gefrieren sofort sehr bedeutend, von sechs, acht, zehn und mehr Graden Kälte bis auf 0° hinaufschnellt. Diese plötzliche und so hochgradige Temperatursteigerung muß natürlich als Verdichtungswärme aufgefaßt werden; im Grunde kann sie jedoch, zumal das Eis ein schlechter Wärme- und ein Nichtleiter für die Elektrizität ist, nur von derjenigen Elektrizität herrühren, wodurch das Krystallisieren, das Eis selber, entstand. Denn durch die erste Erwärmung wird die Elektrizität verstärkt, infolgedessen auch Krystallisation und Wärme vermehrt u. s. f. bis bei 0° das Eis zu schmelzen beginnt, die Temperatur sich gleich bleibt, also keine neue Elektrizität entstehen kann und der ganze Prozeß zu Ende ist.

Da nun zugleich mit der so schnellen Erwärmung des gefrierenden Wassertropfens, die ein getreues Abbild von der Geschwindigkeit der Krystallisation ist, die in die unzähligen Kanäle gedrängte Luft wärmer wird, so dehnt sie sich auch dem entsprechend aus und setzt die noch nachgiebige Umgebung in stoßweise, wallende Bewegung, hebt den Gipfel des erstarrenden Berges in die Höhe und sammelt sich, daselbst von allen Seiten herbeiströmend, in einem einzigen, zerklüfteten Hohlraume, dessen Decke gewöhnlich gar nicht zur Entwicklung

kommen kann, wie schon oben bemerkt wurde, in einem förmlichen Krater.

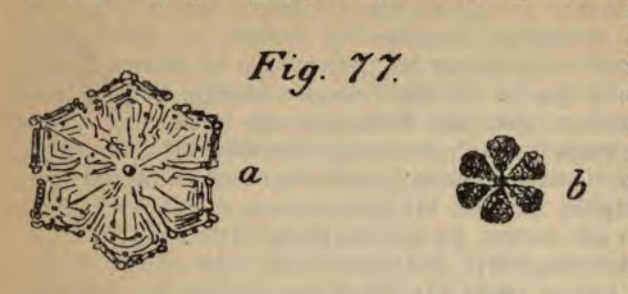
Besteht aber in der einer bestimmten Ordnung folgenden engen Aneinanderreihung der gleichartigen Moleküle des Wassers das Wesen seiner Krystallisation, so wird die Hauptsache der letzteren auch bei anderen Stoffen, die sich in Bezug auf diesen für die Physik überaus wichtigen Vorgang leider nicht so bequem beobachten lassen, aller Vermutung nach dieselbe sein. **Demnach erscheinen die Krystalle als Kraftleistungen der durch die Temperaturänderungen, die für die Krystallisation ja unbedingt erforderlich sind, hervorgerufenen Elektrizität,** sind sie die Zeugen davon, daß die letztere hier oder da oder an vielen, ja an unzählig vielen Punkten zugleich in ungewöhnlich großer Stärke auftrat. Und höchst wahrscheinlich gerade darum, weil die Bausteine dieser Prachtwerke, ihre Moleküle, noch in derselben geordneten Lage verharren, in welche sie durch die damalige, so starke Elektrizitätserregung gebracht wurden, werden sie bei Wiederholung der Krystallisations**ursache**, der Abkühlung nach Erwärmung oder auch schon bei ihrer Erwärmung allein, so ungemein leicht **wieder** elektrisch.

So erklärt sich auch, warum das Wasser, das Fahrenheit in einer zur Spitze ausgezogenen und zugeschmolzenen Glaskugel überkältet hatte, erst dann und zwar plötzlich gefror, als er ihr die Spitze abbrach: Denn das dabei angefaßte Glas erwärmte sich eo ipso plötzlich, und dies umso mehr, als in die Kugel und in das Wasser sofort wärmere Luft drang; sogleich nachher wurde aber auch die Verdunstung thätig, und dem durch diese gesetzten Temperaturabfalle kam noch die Abkühlung zu Hilfe, die nach Beendigung der Berührung augenblicklich von selber eintrat. Fahrenheit's überkaltetes Wasser reagierte also auf plötzliche Temperaturwechsel in seiner Weise ebenso prompt, wie der Nerv von Galvani's Froschschenkel (S. 127).

Jene Erscheinung aber, daß warmes Wasser unter Umständen leichter als kaltes gefriert, kennen die, welche viel Fenster putzen müssen, sehr genau; denn wenn man das im Winter mit warmem Wasser thun will, so „geht es nicht“, weil die Scheibe dabei sofort gefriert.

Wenn die eigentümlichen Höfe um gewisse kleine Eispartieen an den Fensterscheiben als die Wirkung von Abkühlungselektrizität anzusehen sind, also um ein gegebenes Anziehungszentrum das atmosphärische Wasser sich anhäuft, so wird die Wasserdampfkondensation auch im freien Raume ähnlich vor sich gehen. Und dieser Vorgang, wodurch das Wachstum der Schneekrystalle und Hagelkörner von selber klar wird, läßt sich, wenn auch nur im Kleinen, sehr leicht nachahmen. Sind nämlich die ersten zierlichen Eisvegetationen am Außenfenster um einen erhabenen Punkt oder längs der beiden Kanten eines vom Putzen herrührenden Schnittes im Glase samt ihren Höfen erschienen, so braucht man nur, sobald die letzteren nicht mehr wachsen, das innen befindliche Vorfenster zu öffnen bez. abermals zu öffnen

und, nachdem das Außenfenster von neuem beschlagen ist, wieder zu schließen, um nach kurzer Zeit zu sehen, daß die Krystallgruppe, sowie sie wieder einen Hof bekommen hat, auffallend gewachsen ist. Daß es aber ganz vorzugsweise die kältesten Punkte und Linien, die Ecken und freien Ränder der Eiskrystalle sind, von welchen die in der Luft schwebenden Wassertröpfchen angezogen werden, kann man sehr häufig, nämlich an der bei nebligem Wetter zwischendurch fallenden Art von Schneesternen, wie sie Figur 77 veranschaulicht, sehen. An den Eisperlen fällt zunächst ihre sehr verschiedene Größe auf; dann, daß die größten rings um die äußeren Ränder, und endlich, daß sie am dichtesten an den Hauptecken der Strahlen sitzen (Vergl. Kap. 20, Fig. 103a). Was ihre Größe anlangt, so muß man wissen, daß der Durchmesser der in der Luft schwebenden Nebeltropfen beinahe nur den zehnten Teil von jenem der breitgeschlagenen beträgt, die man auf dem Objektglase auffängt, und schon 20—50 mm groß erscheinen. Da wir uns hier nach den letzteren nicht richten können, so müssen wir eben die ersteren zu messen suchen, und das gelingt ganz gut, während sie unter dem Objektive des großen zusammengesetzten Mikroskopes — im Dunkelfelde als silbern glänzende, und bei fast vollem Lichte als schwärzliche Kugeln — durchziehen. Dazu braucht man blos das Fenster, wo das Mikroskop steht, und die gegenüber befindliche Thüre offen zu machen; denn dann strömt der Nebel sofort wie Rauch in das, natürlich ungeheizte Zimmer, und nun zeigt sich, daß die herunter kommenden Tröpfchen blos 0,002—0,005 mm groß sind. Uebrigens sinken viele nicht ruhig nieder, sondern wirbeln wie vieleckige Papierschnitzel oder Birken- und andere geflügelte Samen herab, und daraus folgt, daß ihre Masse kaum einen Augenblick im Gleichgewichte ist, entweder weil das Wasser sich von Hause aus an einen zwar unlöslichen und leichten, aber ungefügigen Körper — an ein Staubteilchen — ansetzte oder ein solches unterwegs fing, oder einen löslichen noch nicht ganz aufgelöst hat und dabei fortwährend seinen Schwerpunkt ändert. Da nun die Eisperlen an der Peripherie des Schneesternes wesentlich größer sind als die flüssigen Nebeltröpfchen, die kleinsten von den ersteren aber, die mehr nach der Mitte des letzteren hin liegen, nur etwa die doppelte Größe der schwebenden Nebeltröpfchen haben, so müssen die randständigen Perlen dadurch gewachsen sein, daß sich daselbst entweder mehrere Wassertröpfchen, kurz bevor sie auftrafen, vereinigten, oder daß auf eine bereits angefrorene Kugel immer wieder neue flüssige flogen und sich daselbst mehr oder weniger ausbreiteten. Im Hinblick auf das Wachstum der normalen, glattbleibenden Strahlen, das doch gleichfalls nur durch Apposition geschehen kann, ist das letztere wahr-



scheinlich, zumal die Perlen sich ihre Kugelform so ziemlich bewahren, und man im Sommer früh morgens auf dem Gartentische beobachten kann, daß die Tautropfen, die doch auch durch Anziehung unsichtbar kleiner Tröpfchen von oben und den Seiten her größer werden, sehr gewöhnlich alle Tage auf einem und demselben Punkte erscheinen und so gewisse konstant wiederkehrende Gruppen bilden. Uebrigens sind manche Schneesterne so dicht mit Nebelbeeren besetzt, daß die Strahlen ganz traubig geworden sind und kaum noch etwas glattes Eis zwischen sich erkennen lassen (Fig. 77b)*). Es kann nun keinem Zweifel unterliegen, daß eine Kraft vorhanden sein mußte, wodurch die Wassertröpfchen so ganz vorzugsweise dort an die Peripherie hin gelangten, und da von allen Teilen des Sternes sein Umfang ganz sicher am kältesten ist, so bilden die 18 Ecken, und namentlich die 6 Hauptecken der Strahlen ebensoviele Elektrizitäts-, also für die in ihre Nähe gelangenden Nebeltröpfchen ebensoviele Anziehungszentren — wie die mit je einem Hofe umgebenen einzelnen Krystallgruppen an den gefrierenden Fensterscheiben. Denn immer muß man daran denken, daß die am freiesten hervorragenden Teile des Schneesternes auch den Temperaturwechseln am meisten ausgesetzt sind — beständig verdunsten oder wachsen sie am meisten, wirken größer und größer werdend auch auf zunehmende Entfernung hin erkältend, also immer stärker elektrisierend, bis so viel Wasser angezogen worden ist, daß das schöne Ordensbild sich nicht mehr in der Schwebe halten kann, sondern zur Erde sinken muß. Das Niedersinken der Schneesterne beginnt aber wohl schon sehr frühzeitig, und wahrscheinlich drehen sie sich dabei in ähnlicher Weise wie so viele Nebeltröpfchen und fast alle niedergehenden mikroskopisch kleinen Rußteilchen, weil sie ja an sich schon mehr oder weniger unregelmäßig gebaut sind und durch ihre Beladung mit Nebelperlen noch leichter ins Schwanken kommen müssen. Die Kreiselbewegungen der Schneesterne bewirken aber, daß ihre am weitesten vom Mittelpunkte entfernten Teile noch kälter bez. immer wieder von neuem kälter und stärker bez. wieder elektrisch werden — ließen sich Volta's Platten doch durch einen sehr kleinen Luftzug, z. B. ein paar leichte Fächerschläge (S. 102) augenblicklich elektrisch machen! — und vorzugsweise dadurch das Material zu ihrer regelrechten Vergrößerung, die füglich fast nur bei Windstille geschehen kann, heranziehen. Denn ist bei hinlänglich niedriger Temperatur kein Nebel, so werden die Wassermoleküle der Luft sich um jedes gegebene Kältezentrum in ganz ähnlicher Weise verdichten wie die un-

---

*) Das sind offenbar schon Uebergänge zu den, wirre Konglomerate von verhältnismäßig großen Eisperlen bildenden Graupeln, nur mit dem Unterschiede, daß unsere beerigen Sterne, gleich allen ebenen Schneesternen höchst wahrscheinlich in ruhiger Luft entstanden, auf der sie wie die Medusen auf der stillen See schwammen, während die Graupeln, die ja immer bei Gewitterstimmung fallen, durch ihre unregelmäßig kugelige Gestalt von der Unruhe zeugen, in welcher sich ihr Entstehungsbezirk befand. Indessen werden, nachdem die Luft sich wieder beruhigt hat, nicht selten einzelne, nämlich die größten von den peripherisch gelegenen Perlen sowohl bei den Graupeln als auch bei den so stark benebelten Schneesternen zu vollkommenen, wenn auch ziemlich niedrigen hexagonalen Prismen.

gleich größeren Nebeltröpfchen, nur daß man die angezogenen Zuwachsportionen ihrer Kleinheit wegen nicht mehr einzeln erkennen kann.



Fig. 78.
Die auf einer Pyramide stehenden Vegetationen. Die mit der Nadel abgestoßenen Vegetationen.

Geht aber bei strenger (13 bis 15°) Kälte der Wind stark, und werden namentlich Pyramiden und Pseudoprismen auf die ein paar Minuten ausgelegten Objektgläser geweht, so geschieht die Anziehung der Wassermoleküle nicht in der wohlgeordneten Weise, die zur Beibehaltung der Krystallform nötig ist, sondern dann sind die Schneekrystalle, obgleich wenig Nebel ist, äußerst dicht besetzt mit langgestielten, unregelmäßig gestalteten, am ehesten noch mit rundlichen oder eckigen Blättchen zu vergleichenden Eisgebilden (Fig. 78 a, b, c), die, wie man bei 100facher Vergrößerung sieht, vielfach zusammengefroren sind; trotz ihrer unregelmäßigen Form stehen sie aber so genau senkrecht zu ihrer Unterlage wie die Eisenfeile auf dem Magneten. Unverkennbar hat hier Anziehung stattgefunden; denn ebenso, wie diejenigen Reihen von Feilspähnen, welche unmittelbar auf dem Magneten stehen, zwischen sich, wenn man nicht Gewalt anwendet, keine neuen Eisenteilchen hereinlassen, sondern sich nur an ihren freien Enden vergrößern, ebenso bleiben die in Rede stehenden Eisgebilde unten an ihrem Fuße dünn und werden nur oben umfangreicher, so daß sie sich blos hier berühren: Die auf einzelnen Punkten der Pyramiden und Prismen zuerst entstandenen Eisglobuliten sind bei der großen Kälte offenbar so stark elektrisch geworden, daß die nächsten Wasserteilchen von ihnen sogleich abgefangen wurden und nicht in deren Zwischenräume konnten. So mußten lange und nur an ihren freien Enden massiger werdende Auswüchse entstehen; zu einer gesetzmäßigen, also krystallinischen Anreihung der angezogenen an die anziehenden Moleküle kam es aber deshalb nicht, weil die Luft in zu heftiger Bewegung war und die neu hinzukommenden, vereisenden Teilchen, da sie noch weich waren, verdrückt und zusammengeschoben wurden. Wenn Wind ist, gefrieren die Gewässer rauh.

Kapitel XIX.

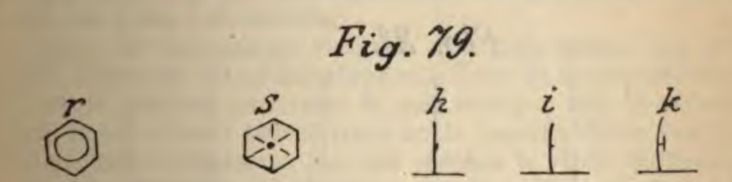
Einfachste Schneekrystalle

Das primitive Eisprisma ist an seinen Seiten- und Endflächen entgegengesetzt elektrisch. Der elektrische Aufbau der beiden Grundformen der Eiskrystalle. Amorphes Eis und Amorphie überhaupt.

Die einfachsten, noch wohl charakterisierten Schneekrystalle sind kleine, oft nur 0,1 mm große, also mit bloßen Augen kaum noch sichtbare, dünne, durchscheinende hexagonale Scheibchen, die zugleich mit zusammengesetzteren oder auch schon sehr zusammengesetzten Eiskrystallen, den sogenannten Schneesternen, bei starker Kälte fallen, aber nur, wenn Aufklärung eintritt und die Luft bloß unmerklich bewegt ist. Diese kleinsten zarten Scheibchen sind es, die vor allen Dingen ins Auge gefaßt werden müssen, wenn wir die Entstehung der so vielgestaltigen Schneekrystalle im Luftmeere und damit jene der allerverbreitetsten, massenhaftesten und phänomenalsten Krystallisation, die es überhaupt giebt, uns als das, was sie ist, als Elektrizitätswirkung klar machen wollen, als die systematische Aneinanderreihung der fest werdenden Wassermoleküle um ein gegebenes Kältezentrum.

Schon diese Scheibchen sind fast immer doppelt, und zwar so, daß eine größere dickere und eine kleinere dünne in ihren Mittelpunkten miteinander durch eine kurze Achse verbunden sind. Liegt nun, was freilich nicht die Regel ist, die kleinere Scheibe, die anfangs noch kreisrund ist, auf der größeren (Fig. 79r), so weiß man nicht woher der Ring oder Kreis kommt und was man aus ihm machen soll; fiel das minutiöse Eisgebilde aber auf sein kleineres Blättchen, so bemerkt man von diesem oft garnichts und nur erst, wenn das Sechseck vorsichtig aufs Hohe

Fig. 79.

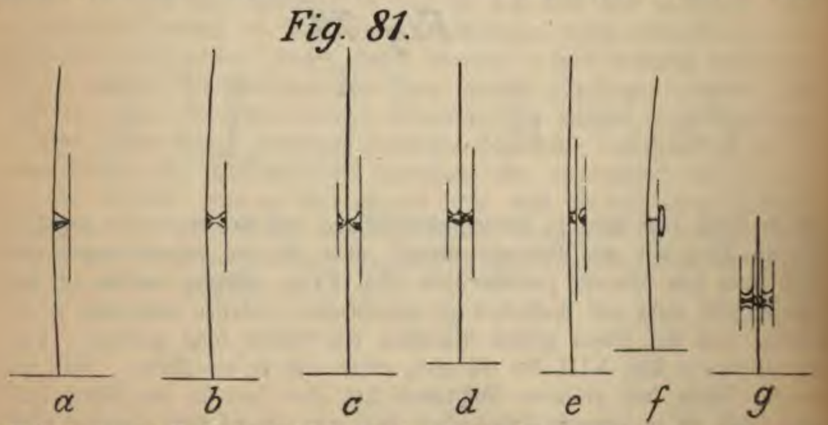


gestellt wird, sieht man zu seiner Ueberraschung, daß das Ganze ein Zwilling ist, ein Ding wie ein Manschettenknopf, aber oft mit äußerst kurzem und meist auch sehr dünnem Zwischenstücke (Fig 79h). Häufig freilich ist das letztere nicht mehr mit Sicherheit zu unterscheiden, indessen immerhin zu erkennen, daß auf einem großen Blättchen ein kleines dicht aufliegt. (Vgl. Hellmann's Taf. VIII Nr. 14 ganz unten und in der Mitte). Die unbedeckte Fläche des größeren Blättchens hat aber stets in der Mitte eine, wenn auch oft so schwache Erhabenheit, daß man schiefes Licht benutzen muß, und von dieser gehen sechs nicht minder zarte Strahlen nach den sechs Ecken des

ersteren hin (Fig. 79 s). Das Ganze hat also, so oder so gesehen, die größte Aehnlichkeit mit dem Mittelstücke so sehr vieler Schneesterne, und gewiß hätten jene allerkleinsten Scheibchen, die zur Beobachtung gelangen, wenn sie nicht vorzeitig herabgefallen wären, auch solche werden können, da man gleichzeitig meist alle möglichen Uebergänge von dieser Elementarform, die wir das Primitivtäfelchen bez. den Primitivzwilling nennen wollen, bis zum kompliziertesten und prachtvollsten Eissterne auf den Objektgläsern findet.

Zweifellos ging alles von dem kleinen Eiskörperchen in der Mitte zwischen den beiden parallelen Eisplatten aus, und höchstwahrscheinlich war dasselbe, wie schon Seite 156 betont wurde, ein gefrorenes Nebeltröpfchen, das in den Fällen, wo man es gerade noch deutlich erkennen kann, in seiner zu den Scheiben senkrechten Achse nur 0,002—0,003 mm messen mag. Vergleicht man nun untereinander eine Menge ähnlicher, aber umfangreicherer Zwillinge, die gleich von Hause aus größer angelegt sind und deren Sechseck einen ein- bis zweimal aufgebogenen Rand hat, also tellerförmig geworden ist und sich augenscheinlich von neuem vergrößert hat (vgl. Hellmann's Taf. VIII Nr. 14, die große flache, scheinbar facettierte Schüssel in der Mitte, und unsere Figur 80): So zeigt sich, daß das Verbindungsstück der beiden Zwillingsplatten viel länger als jenes der kleinen ist, nämlich mindestens 0,02 mm mißt. Folglich muß sich das gefrorene Nebeltröpfchen, sagen wir kurz der Primitivglobulit, gestreckt haben, ehe er die beiden Scheiben oder doch die zweite Scheibe bekam; denn nachher ist sein Wachstum in die Länge undenkbar. Die so bedeutende und manchmal noch viel größere Verlängerung geschah nun bisweilen namentlich an einem, gewöhnlich aber an beiden Enden des Verbindungsstückes des Plattenpaares; denn entweder ist vorzugsweise das eine, oder es sind beide Enden viel dicker geworden. Geht man schließlich zur Untersuchung der größten und nahe-

Fig. 80.



(Auf die kurzen Verbindungsstücke der Zwillinge, Drillinge rc. kommt es an, sie enthalten meist Luft und brechen das Licht sehr scharf!)

zu oder anscheinend ganz ausgewachsenen Sterne über, so findet sich bei hundertfacher Vergrößerung, daß die Anschwellung, sei sie nun einseitig oder doppelseitig, eine ganz unerwartete Gestalt, nämlich Kegel- oder Pyramidenform bekommen, ja noch mehr, daß sie in ihrem Innern eine das Licht außerordentlich stark brechende Luftblase hat, daß sie also hohl, wenn auch noch verhältnismäßig dickwandig ist. Nehmen wir den einfachsten Fall, wo besonders das eine Ende der Achse sich so merkwürdig vergrößert hat (Fig. 81a), so liegt die eine von beiden Platten auf einem Körper, der ganz und gar den minutiösen, gleichfalls mit einer sehr umfangreichen Platte bedeckten Pyramiden gleicht (Fig. 71h), die oftmals neben ganz ähnlichen, aber viel weiter ausgebildeten fallen, oder auch (vgl. Fig. 71 gr) ebenso klein wie h geblieben sind und einem Kugelsterne angehören. In der Regel jedoch ist das Zwischenstück eine Doppelpyramide, die sich (S. 158) mehr oder weniger in ein niedriges Pseudoprisma umgewandelt hat (Fig. 81 b). Beim Aufstellen einer großen Zahl von Schneesternen macht man nun die Entdeckung, daß ebenso häufig wie Zwillinge auch Drillinge vorkommen (c, d, e, f); ja wiederholt sah ich eine Verbindung von fünf Eisscheiben über einander (g), wo nämlich zuerst, wiewohl in äußerster Engigkeit, der Fall d, und dann auf jeder der beiden ersten Deckplatten nochmals ein, und zwar verhältnismäßig sehr großes, gedeckeltes Pseudoprisma entstand. Das knopfartige Scheibchen endlich, welches bei f auf der kleinen dünnen Platte aufliegt, ist ein in einer warmen Strömung zusammengeschmolzenes, und dabei auch auf jene niedergesunkenes, besonders dickes Zwillingspaar, das von der Fläche gesehen (Fig. 82) im Innern um eine zentrale große Luftblase, die von dem niedergeschmolzenen, hohl gewesenen Verbindungsstücke zwischen ihnen herrührt, sechs Reihen kleiner Luftblasen zeigt, die sich unter den erhabenen Strahlen der Hauptplatte fingen, als diese auf die Nebenplatte niederfiel.



Fig. 82.

Schon aus den wenigen Beispielen wird hervorgehen, daß wir es hier mit etwas für die Schneekrystalle ganz Charakteristischem zu thun haben, das aber, wenn man sie nicht aufrichtet, leicht übersehen wird, nämlich daß die unter dem Mittelpunkte irgendwelcher Zentrumsplatte versteckte Pyramide bez. **das zwischen je einem Zwillingspaare von Scheiben befindliche Pseudoprisma die Hauptsache, d. h. das Erste in der Entstehungsgeschichte der Schneekrystalle ist.** Daher müssen wir diese beiden nicht in die Fläche, sondern zu einem Hohlkörper ausgewachsenen Krystallformen, wo es thunlich ist, näher untersuchen, und das geht leicht an, wenn sie sehr viel größer und ganz oder nahezu selbständige Individuen sind, deren Einzelheiten offen daliegen.

Daß gestielte oder ungestielte hohle, aber, wie die Bauleute sagen, getreppte Pyramiden auf den ausgelegten Objektträgern sich aus einem sehr

kleinen Eisglobuliten, also mit der Spitze nach unten, entwickeln, erfuhren wir Seite 159 und werden es weiter unten (Kap. 20) noch genauer sehen. Untersuchen wir ferner am offenen Fenster des ungeheizten Zimmers die in Figur 71 abgebildeten Vereinigungen von glattwandigen Hohlpyramiden, die bisweilen wie die Halbachsen eines Würfels oder tetragonalen Prismas, gewöhnlich aber wie jene eines hexagonalen Prismas mit den Spitzen gegen und an einander gestellt sind, sofort, nachdem sie (vor dem Fenster) fielen, mit den Holznadeln, so ergiebt sich, daß sie auf dem Punkte, von welchem sie alle ausgehen, festgewachsen sind. Dieser Punkt kann daher nichts anderes als ein Würfel oder eine der Grundformen des tetragonalen bez. hexagonalen Systems, er wird auf der höchsten Stufe seiner Entwicklung ein hexagonales Prisma sein; und da die Eispyramiden in diesen Vereinigungen oft sehr ungleich groß angetroffen werden, so ist zu schließen, daß sie zwar alle aus ihrem krystallinischen Zentralglobuliten hervorwuchsen, die eine der andern aber häufig, nämlich in Folge von Zufälligkeiten, das Baumaterial, die Wassergasmoleküle der Luft, wegnahm. Endlich wurde schon Seite 237 gesagt, daß diejenigen Eisglobuliten, welche, wie es ja auch bei den Thautropfen in entsprechender Weise der Fall ist, bedeutend größer als so viele andere geworden sind, allmählich krystallisieren, und ward ausdrücklich hervorgehoben, daß bei diesen aufgefrorenen, eckig werdenden Perlen erst der tesserale, später jedoch, d. h. bei den noch größer gewordenen bez. auf den kleineren aufliegenden, der hexagonale Typus vorherrscht.

Wenn nun bei 6° bis – 8° und stillem, nebligen Wetter viele Pyramiden, außerdem aber auch Primitivzwillinge fallen, so kommt es häufig vor (Fig. 83a), daß die sechs Ecken derselben in ganz ähnlicher Weise mit Nebelperlen besetzt sind wie jene des großen Sternes der Fig. 77 S. 167. Allein bei 100facher Vergrößerung erweist sich die dem Auge zugewandte Fläche der größten zwei oder drei Perlen als sechseckig (Fig. 83b), und wenn der so besetzte Zwilling aufs Hohe gestellt wird, so zeigt sich, daß die Sechsecke nicht hexagonalen Prismen angehören, sondern die Grundfläche von noch soliden, 0,03 – 0,04 mm langen Pyramiden sind (F 83c), die mit ihrer Spitze zwisch den kleineren, nur würfelförmig

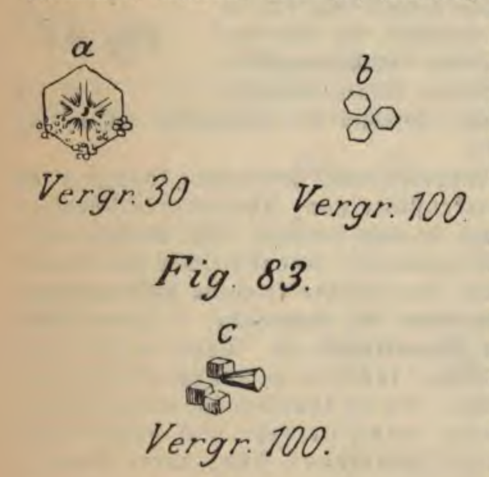


Fig. 83.

Krystallen stehen, und zwar senkrecht zur Ebene des Blättchenpaares. Di Beobachtung (vom 10. Jan. 91) ist wertvoll, weil man nur hierbei erste Entwicklungsstufe derjenigen Pyramiden zu Gesichte bekommen ka welche wir S. 157 so vielfach vorführten, und als das Vorbild des V

bindungsstückes zwischen zwei großen Zwillingen erkannten. Demgemäß zeigte sich am folgenden Vormittage, wo trotz 7 Grad Kälte bereits Nebelnässen zu fühlen war, also vorhandene Eiskrystalle üppig weiter wachsen mußten, daß die bei spärlichem Reife wiederum gefallenen Primitivzwillinge auf jeder ihrer sechs Ecken statt der Haufen krystallinischer Nebelperlen nunmehr eine Pyramide trugen, die innen, nach der Mitte des Ganzen zu, zwar offen, außen aber ungemein dickwandig und verhältnismäßig hoch, d. h. an 1 mm lang und etwas nach außen geneigt war (Fig. 84 A), während der Zwilling selber nur insofern eine Aenderung erfahren hatte, als seine beiden so zarten Lamellen infolge ihrer Berührung mit den niedergehenden Wassertröpfchen zusammengeschmolzen waren und dabei, wie man sieht, Luft zwischen sich genommen hatten. Es war also auf den sechs Ecken der oberen von der ursprünglichen Doppelscheibe je eine der am Vortage beobachteten minutiösen Pyramiden allein stark weiter gewachsen, jedoch nicht durch und durch, sondern nur ihre Seiten, so daß jeder der so geschoßten Krystalle hohl wurde; was aber das Allerauffälligste ist: Die beiden nach außen gewandten Seiten e e, é é - - jeder der sechs senkrecht stehenden Hohlpyramiden, in die wir hineinsehen, sind ungeheuer dick geworden, die an sie grenzenden beiden Wände schon sehr viel dünner und die beiden inneren kaum halb entwickelt, so daß sie nicht zusammenschließen und die Pyramide statt ihrer inneren Kante einen Spalt hat: Wie immer ward die Kälte an der Peripherie des sechsgliedrigen Schneesternes, mithin auch seine Elektrizität daselbst am stärksten; hier wurden die Wassergasmoleküle der Luft am kräftigsten, mithin schon aus weiter Ferne, also in größter Menge angezogen und zu Eis verdichtet, während die Temperatur in dem von den sechs Pyramiden eingeschlossenen Raume wie in einem, wenn auch offenen Gefäße zu wenig schwanken bez. zu wenig fallen konnte, um starke Elektrizität zu erzeugen. Das Ganze ist also ein Schneestern, dessen Strahlen sich, wenn er auf der Luft horizontal schwimmt, nicht blos nach außen hin, sondern auch nach oben entwickelten. Auf den kleinsten Primitivzwillingen waren die dünnen, nach innen gerichteten Wände der randständigen Pyramiden sogar ganz in Wegfall gekommen, und verwuchsen die äußeren nun mit einander bis auf eine mehr oder weniger deutliche Naht N N N (Fig. 84 B), so daß aus dem noch sichtbaren Primitivzwillinge eine einzige, kompakte und symmetrisch gestaltete, verhältnismäßig große Hohlpyramide oder ein niedriges Hohlprisma entstanden war. Während nun die letztgenannten Pyramiden auch bei ihrem



weiteren Wachstume regelmäßig bleiben, behalten jene, die auf den sechs Ecken des basalen Prismas (bei A) einzeln stehen, also nicht mit einander verschmelzen, auch später ihre unsymmetrische Gestalt bei und erscheint ihre äußere, so dickwandige Hälfte von der Seite gesehen stark konvex, ihre innere dagegen fast gradlinig (Fig. 84 C). Diese, wie man bei Hellmann Nr. 14 links oben sehr gut sieht, nur mit der äußersten Spitze auf der bewußten Ecke stehenden Hohlpyramiden springen jedoch bei der Berührung mit etwas Hartem, also auch in der Luft durch allerhand Stöße sehr leicht von ihrer Unterlage ab; daher vergeht manchmal der ganze Winter, ohne daß man sehen konnte wie sie eigentlich entstehen. So viel Geduld ist nötig, um die Anfänge der versteckten mikroskopisch kleinen Pyramiden ausfindig zu machen, der Grundstöcke, worauf sich die tafelförmigen, also die allermeisten Schneekrystalle erst entwickeln!

Ebenso nun, wie eine einfache Pyramide aus einem Eisglobuliten, der irgendwo festgefroren ist, herauswachsen kann, ebenso wird dies auch möglich sein, wenn ein solches Kügelchen längere Zeit frei in ruhiger, hinlänglich feuchter und kalter Luft schwebt und langsam niedersinkt. Dafür spricht einmal die Thatsache, daß immerhin viele, ziemlich scharf zugespitzte, sehr verschieden große glatte Hohlpyramiden fallen, die ganz ebenmäßig gebaut sind, also überall gleich dicke Wandungen haben; dann aber auch die Entwicklungsgeschichte der Pseudoprismen (S. 158) und diese steht wiederum in innigem Zusammenhange mit der Weiterentwicklung der soeben genannten glatten Einzelpyramiden.

Wird demnach eine der letzteren genauer untersucht, d. h. bei 100facher Lupenvergrößerung und strenger 9—10 Grade betragender Kälte, damit, ehe die Vorbereitungen dazu fertig sind, nicht schon etwas, worauf es möglicherweise gerade ankommt, verdunstet bez. weggeschmolzen ist, so sieht man zu seiner Ueberraschung, daß die Pyramide noch einen dünnen, mehr oder weniger geschlossenen Mantel umhat. Während nämlich die weite Oeffnung derselben — geometrisch ihre Basis — sich mit der bekannten hexagonalen Tafel bedeckt, wächst auch (ich sah dies zum ersten Male im Februar und März 1889) um ihre Seitenflächen und zwar von ihren Kanten aus, eine zarte Eishülle, deren Entwicklung unten also an den dicksten Teil der Pyramide zuerst fertig ist, nach der Spitze zu fortschreitet und auch diese schließlich ganz umgiebt. Wie das zugeht, wird nur dann völlig klar, wenn man eine solche Pyramide mit einem et-

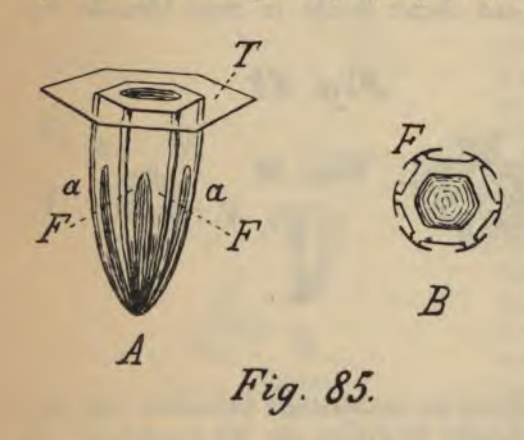


Fig. 85.

kalten Messer etwa bei a a in Figur 85A, quer durchschneidet, die beiden Stücke aufrichtet und wiederum bei 100 f. Vergrößerung betrachtet. Denn jetzt erst zeigt sich deutlich, daß zunächst die sechs Kanten der Pyramide und zwar in ähnlicher Weise zu Leisten auswuchsen, wie jene der Rauhfrostpyramiden (Fig. 73 S. 159) — ein weiterer Beweis, daß diese jenen morphologisch gleich sind, und daß auch die jetzt in Rede stehenden sich von der Spitze aus, also, wie wir annahmen, von einem einzigen Eisglobuliten aus entwickelten: Die ursprünglich ganz scharfen Kanten der noch soliden Pyramide (Fig. 83 c) zogen, weil sie am kältesten waren, das meiste Wassergas an sich. Aber nicht blos die Längs-, sondern auch die Basalkanten thaten dies, und indem jede sich verlängerte und verdickte, wurde die Pyramide nicht blos höher, sondern auch hohl; denn nachdem die Anziehung der Basalkanten einmal die Uebermacht über jene der von ihnen eingeschlossenen Fläche erlangt hatte, so wuchsen sie wie die Ränder einer angefangenen Bienenzelle hinauf, nur daß die sechsseitige Eispyramide, weil allseitig frei, auch in der Richtung ihrer Nebenachsen eine Zeit lang viel mehr zunahm, also anfangs trichterförmig ward. Als nun die Verlängerung und Erweiterung der Eispyramide aufhörte, so konnte dies nur davon herrühren, daß das Baumaterial, das Wassergas plötzlich knapp wurde; und dies kam offenbar daher, daß von ihr die mächtige, sehr wasserreiche und relativ warme Luftschicht, welche unterhalb der höher gelegenen Heimat des Primitivglobuliten lag, durchfallen worden war und sie, die Pyramide, nun in eine kältere und relativ trockene Schicht gelangte. Demnach flogen in der letzteren lange nicht so viele Wassermoleküle gegen die im Fallen ihre Temperatur ja fortwährend ändernde und infolgedessen immer elektrisch bleibende Pyramide, so daß jedes einzelne Zeit hatte fest zu werden, ehe das nächste ankam. Hier in der wasserarmen unteren Luftschicht konnte die Aneinanderreihung der Moleküle also ohne jede mechanische Störung geschehen, so daß zunächst sämtliche Kanten der Pyramide, wie bei einem vollkommen ausgebildeten Krystalle, scharf wurden. Indem nun diese ebendadurch wieder am kräftigsten anzogen, aber sehr wenig Stoff zum Anziehen da war, so wuchsen sie nur in dünnen Platten, eben in diejenige Krystallform aus, deren Herstellung das wenigste Material erfordert. Hieraus folgt: *Wenn in der Luft sehr viel Wasser vorhanden ist, so krystallisiert es daselbst in Pyramiden, und wenn davon nur wenig da ist, in Tafelform.* Daher wird, so lange Schnee*sterne* fallen, so bald kein Thauwetter; wenn es aber Pyramiden schneit, so tritt dasselbe schon nach zwei bis vier Tagen ein, weil die warme wasserreiche Luftschicht, aus der sie kommen, erfahrungsmäßig so lange Zeit braucht, bis sie sich zu uns herabgesenkt hat.

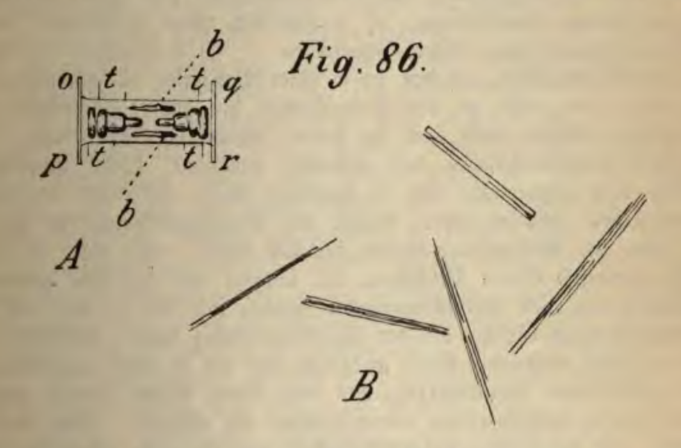
Ebenso nun, wie die hexagonale Tafel T (Fig. 85A), von welcher die Pyramidenbasis bedeckt wird, deren gleichgerichtete Fortsetzung ist, ebenso ist der Mantel die gleichgerichtete Fortsetzung der Pyramiden*leisten*, die, wie B zeigt, sich ja auch erst ebneten. Mithin bekam — man kann das manchmal auch direkt beobachten — zunächst das basale Ende einer jeden Leistenkante gleichsam einen Flügel F, und während diese Flügel an den Leisten bis zur Spitze der Pyramide in die Länge wuchsen, vergrößerten sie

sich auch in die Quere, so daß immer die beiden einander gegenüber stehenden Flügel zweier benachbarter Leisten, nachdem sie sich erreicht haben, mit einander verschmelzen. Dies geschieht, wie gesagt, am basalen Ende der Pyramide zuerst, und so entstehen, wenn der Mantel ringsherum und von unten bis oben geschlossen ist, in ihr sechs lange Nebenhöhlen, die, weil mit Luft gefüllt, so überaus scharf vom Eise abstechen.

Und nun ergiebt sich leicht, wie jene sonderbaren Pseudoprismen, worüber der Abschnitt, welcher von dem elektrischen Ursprunge der Krystallisation handelt, genaue Auskunft geben muß, zustande kommen. Denn ihre Entstehung ist für uns darum von der größten Wichtigkeit, **weil auf ihrer äquatorialen Einschnürung** (vgl. p. p. auf Figur 71 S. 157, und auch bei Hellmann (a. a. O.) liegt auf Tafel VIII Nr. 14 unten in der Mitte ein großer, sowie daneben ein kleiner ganz deutlich eingeschnürter Zylinder) **geschrieben steht, daß hier mit derselben Entschiedenheit das abgestoßen ward, was rechts und links daneben angezogen wurde.**

Das hexagonale Prisma, in welches der in der Luft schwebende Primitivglobulit sich zunächst verwandelte (S. 174), wuchs sowohl an seinen sechs oberen als auch an seinen sechs unteren Kanten in eine hohle Pyramide aus, deren Hauptachse die Fortsetzung jener des Prismas ist. Wenn nun jede von beiden in der skizzierten Weise einen auch die Spitze vollkommen einhüllenden Mantel bekam, so resultierte die Sanduhrform; da wir aber nicht selten solche Säulen antreffen, die sogar einen tiefen, bis auf die Hauptachse gehenden Einschnitt haben, den man als Duplikatur erst mit den stärkeren Lupenvergrößerungen erkennen kann, so sagt dies überzeugend, daß außer der Kraft, wodurch die Wasserteilchen beiderseits angezogen und die beiden Pyramiden zu zwei Säulen- bez. Zylindern umgewandelt worden waren, noch eine andere da sein mußte, welche die gegen den Aequator, den nachmaligen Einschnitt, fliegenden Wassermoleküle von ihm ferne hielt, sie also von ihm abstieß; daß demnach die beiden Säulenhälften gleichnamig elektrisch waren, ihr Verbindungsstück aber die entgegengesetzte Elektrizität besaß: denn dann wurden die von jenen angezogenen Teilchen gleichnamig zum Mittelstücke. **Demnach muß schon das primitive Eisprisma beide Elektrizitäten besessen haben, müssen die sechs seiner Hauptachse parallelen Flächen entgegengesetzt elektrisch gewesen sein zu den übrigen beiden, die auf jenen senkrecht stehen.** Nötigen uns unsere Untersuchungen aber zu der Schlußfolgerung, daß das hexagonale Primitivprisma bei raschen Temperaturänderungen (vor allen Dingen beim Uebergange des Primitivglobuliten aus seinem hoch oben gelegenen kalten Entstehungsorte in die viel weniger kalte, sehr wasserreiche Schicht, worin er so riesig wächst) an beiden Enden seiner Hauptachse die eine, und ringsum, also vorzugsweise rechtwinkelig zu ihr wirkend, die andere Elektrizität bekommt, so führen sie auf eine bei der Erwärmung oder Abkühlung makroskopisch großer hexagonaler Krystalle längst beobachtete Thatsache, und wird gerade dadurch unsere Annahme, daß die bei der Krystallisation thätigen Kräfte elektrische sind, aufs Schönste bestätigt.

Füllte sich nun der Querspalt in dem Pseudoprisma mehr oder weniger aus, so geschah das sicherlich infolge einer oder mehrerer interkurrenter Temperaturänderungen, wodurch entweder, und das ist das Wahrscheinlichste, jeder der beiden Halbzylinder, oder nur das Verbindungsstück sein Zeichen wechselte, sodaß auf jeden Fall die ganze Oberfläche des Zwillinges gleichnamig ward und auch der Einschnitt anzog. Bei dieser Gelegenheit schmolz auch häufig der peripherische Teil der Scheidewand zwischen den Hohlpyramidenpaaren, sodaß die beiderseits unmittelbar unter dem Mantel gefangene Luft zu langen, der Hauptachse parallelen Blasen (b b Fig. 86) zusammenfließt. Nebenbei



bemerkt teilen sich diese luftreichen Eisgebilde bei nahendem Thauwetter sehr leicht der Länge nach und bilden, indem die langen Splitter sich nahe an einander legen, immer dünner werden und teilweise abbrechen, jene schlanken Nadeln, Nadelpaare oder Nadelbündel, die bisweilen ungeheuer, d. h. 5 bis 8 mm lang und meist so geradlinig wie mit dem Lineale gezogen sind — ein sicherer Beweis, daß die mütterlichen Pseudoprismen, die man sich aus den Nadeln, falls sie noch nicht sehr dicht auf einander liegen, oft ganz gut rekonstruieren kann, darum so lang geworden sind, weil die wasserreiche Luftschicht, aus welcher sie kamen, bis herab auf die Erde reichte.

Der wichtige Schluß, daß der gemeinsame Urkörper des zum Pseudoprisma werdenden Pyramidenpaares, das Primitivprisma, an den Seiten- und Endflächen entgegengesetzt elektrisch ist, lenkt unsere Aufmerksamkeit wieder zurück auf jene Krystallform, die den Anfang von der Mehrzahl der tafelförmigen, mithin auch von den allermeisten Schneekrystallen überhaupt bildet, nämlich auf den Primitivzwilling (S. 171).

Daselbst sahen wir, daß das Primitivtäfelchen nicht frei in der Luft, sondern auf der Basis einer meist minutiösen, häufig hohlen Pyramide entsteht, und daß diese wieder die krystallinische Weiterentwicklung einer der End-

flächen eines sehr kleinen länglichen Globuliten ist. Mithin folgt hieraus und aus dem, was wir auf den letzten Seiten auseinandersetzten, daß das Gebilde h in Figur 71 (S. 157) morphologisch gleich ist dem in Figur 85 dargestellten, nur daß das Größenverhältnis von Pyramide und Tafel sich umkehrte: dort ist die Pyramide klein und die Tafel groß, hier aber ist die Pyramide groß und die Tafel klein. Nun schlossen wir aus der oft äußerst regelmäßigen Stellung der mit einander zu einer Gesellschaft vereinigten Pyramiden (Fig. 71), daß schon ihr Primitivglobulit ein ausgesprochener Krystall und zwar meist ein hexagonales Prisma gewesen sein müsse, und folgerten aus der Entwicklung der Doppelpyramide zum Pseudoprisma, genauer aus seinem äquatorialen, oft unglaublich tiefen Einschnitte, daß der Primitivglobulit zwischen beiden Pyramiden — ich wiederhole es nochmals — beide Elektrizitäten, an den zu je einer Pyramide auswachsenden Endflächen die eine, und an den Seitenflächen die andere Elektrizität gehabt haben müsse: Mithin wird auch die kleine, anfänglich dünne Achse, welche die beiden Primitivtäfelchen mit einander verbindet, höchst wahrscheinlich gleichfalls eine hexagonale und in derselben Weise elektrische bez. elektrisch werdende Säule gewesen sein. Allein der Analogieenbeweis ist gar nicht nötig, denn die Beobachtung spricht für sich selber. Wie wäre es möglich, daß zwei parallele dünne Blättchen, die längere Zeit nur eine gemeinsame, kaum 0,002 mm dicke Verbindungsachse haben, sich bis zu der verhältnismäßig ungeheueren Größe, die der Primitivzwilling besitzt, entwickeln, wenn von dieser Achse nicht eine Kraft ausginge, die das in ihrer Umgebung vorhandene molekulare Baumaterial, das von ihren Enden gierig angezogen wird, zwischen denselben von allem Anfange an abstößt? Sieht man zum erstenmale, daß die beiden Primitivtäfelchen nur ein paar hundertstel Millimeter von einander abstehen, und einander doch nirgends außer im Mittelpunkte berühren, so scheint es unfaßlich, daß dieser Parallelismus sich in der ewig bewegten Luft erhalten konnte und beide Blättchen trotz ihrer großen Nähe so streng getrennt blieben. Erst wenn man sich den weiten Weg nicht verdrießen läßt, den wir machen mußten, um bei den Schneekrystallen in der Mannigfaltigkeit die Einheit zu ermitteln, zeigt sich, daß auch die merkwürdige Erscheinung der Zwillingsbildung eine Naturnotwendigkeit ist, weil überall Elektrizität die Herrschaft führt, welche die kleinsten Teilchen hier scheidet und dort verbindet.

Sollte denn aber die Anziehungskraft, die den Seitenflächen des Primitivprismas, auf dessen Endflächen sich die Zwillinge entwickelten, eigen ist, nur etwas verhindern und nichts schaffen können? Unmöglich! denn einesteils geht Kraft auch in diesem Sinne sicherlich nicht verloren, und anderenteils beobachten wir, daß recht alte Zwillinge, deren Platten sehr dick geworden sind, auch ein viel dickeres Verbindungsstück haben als die zarten jungen, daß dieses also höchst wahrscheinlich denselben Stoff, nur in anderer Anordnung, an sich gezogen hat. Um davon eine Vorstellung zu bekommen und daraus vielleicht auch für die Krystallisation im Allgemeinen einigen Nutzen zu ziehen, wird es jedoch nunmehr notwendig sich auf Grund der entwickelten Thatsachen ein Bild von der Entstehung der Primitivtäfelchen

und der nächsten Krystallformen zu machen, freilich unter Zuhilfenahme einiger Hypothesen; indessen sind sie gänzlich ungesucht.

Bekanntlich wird fast allgemein angenommen, daß die Moleküle der in den festen Zustand übergehenden Flüssigkeiten Krystallform bekommen, und daß sie beim Wasser hexagonale Prismen sind. Da sich nun (S. 142) zeigte, daß dasselbe bei Ueberfluß in kompakten, später hohl werdenden hexagonalen Pyramiden, und wenn es nur spärlich vorhanden ist, in dünnen hexagonalen Tafeln krystallisiert, so ist es wahrscheinlich, daß die gefrierenden Wassergasmoleküle in beiden Fällen verschiedene Form und Größe haben: Dort, wo ein langer und dicker Körper entsteht, werden die Bausteine, wie bei der Grundmauer, groß und dick, hier jedoch, wo das Wachstum in die Fläche vorherrscht, werden jene, wie bei einer Zwischenmauer, kleiner und dünner — Prismen aber können weder diese noch jene sein. Denn da die Ecken der krystallisierten Moleküle, weil deren temperaturempfindlichste Punkte, die Anziehungszentren bilden, das Prisma jedoch in der Richtung seiner Hauptachse, also oben und unten „offen" ist, keine Spitze hat, so wären dergleichen Bausteine ziemlich unbrauchbar, da nicht denkbar ist, wie sie von oben und von unten her andere Moleküle kräftig anzuziehen und festzuhalten imstande sein sollten; aber auch, wenn das anginge, so würde das Eis unter diesen Umständen in einer bestimmten Richtung nicht porös und nicht von allen Seiten her gleichmäßig zusammendrückbar sein. Folglich müssen die Moleküle des krystallisierten Wassers (und wahrscheinlich auch vieler anderer krystallisierbarer Körper) nicht bloß in der Richtung ihrer Nebenachsen, sondern auch in jener der Hauptachse „geschlossen" sein, eine Ecke, ein Kraftzentrum haben. Da nun das Wasser thatsächlich so häufig in Form von Pyramiden krystallisiert, und das Prisma keine primäre, sondern eine von der Pyramide abgeleitete Form ist, so dürfte kein Zweifel sein, daß **das gefrierende Wassermolekül eine hexagonale Protopyramide, geometrisch ein Pyramidenpaar mit gemeinschaftlicher Basis ist.** Denn dann erst sind die Eismoleküle so beschaffen, daß sie sich nicht bloß zu Flächen, sondern auch zu Körpern zusammensetzen lassen. Geschieht also die Anziehung vorzugsweise durch die beiden Pole der Pyramide (im krystallographischen Sinne), so werden Krystalle entstehen, die weniger breit als hoch, d. h. recht lang sind; ziehen aber umgekehrt die sechs Mittelecken der Pyramide stärker an als ihre beiden Polecken, so müssen die entstehenden Schneekrystalle breiter als hoch werden. Das Erstere wird stattfinden, wenn die Molekularpyramiden „spitz", und das Letztere, wenn sie „stumpf" sind. Nehmen wir nun an, daß die aus sehr wasserreichen Gegenden des freien Raumes stammenden, mehr oder weniger säulenförmigen Schneekrystalle (Schneepyramiden und Pseudoprismen) sich aus Molekülen aufbauen, die spitze, also sehr inhaltreiche Pyramiden sind, und daß die allbekannten flachen, tafelförmigen Schneesterne und deren Verwandte aus stumpfen, inhaltarmen Pyramiden bestehen, so läßt sich der elektrische Aufbau der einen wie der andern der beiden ursprünglichen Eiskrystallformen unschwer denken.

Der Primitivglobulit nun, welcher zur Zwillingsachse wird, ist wahrscheinlich schon von Hause aus länglich, weil dann die Temperatur seiner beiden Enden leicht hinreichend verschieden werden kann von jener seiner Seitenflächen und demzufolge durch den sich auf die eine oder andere Weise verstärkenden Gegensatz zwischen der Temperatur der End- und Seitenflächen beide Elektrizitäten entstehen bez. wirksam werden. Da wir wissen, daß aus diesem, etwa kokonförmigen Globuliten zunächst ein verhältnismäßig langes sechsseitiges Prisma entsteht, so müssen „spitze" Pyramiden so lange angezogen worden sein, bis sie, dank ihrer eigenen so regelmäßigen Form, sich erst an den beiden Enden des immer länger gewordenen Globuliten regelmäßig und zwar derart gruppiert haben, daß eine durch ihre freien Pole gelegte Fläche nahezu eben ist, und zwar eine ziemlich regelmäßige sechseckige Ebene bildet. Wenigstens die eine von diesen beiden voll und gleichmäßig besetzten Tafeln wird nun noch längere oder kürzere Zeit fortfahren mit ihren hinaufragenden freien Spitzen die Pole, und mit den freien Randecken die Randecken neuer molekularer Pyramiden anzuziehen, sodaß der Gesamtkörper schon die Form zweier mit ihren Spitzen auf einander stehenden Pyramiden bekommt, also der Anfang einer unserer beiden Eispyramiden geworden ist, die wir zwischen den Täfelchen der Primitivzwillinge wirklich erkennen können. Alsbald aber kommt es darauf an, ob die Luft viel oder wenig Wasser enthält. Ist viel davon da, so setzt sich der so weit gediehene Aufbau in gleicher Weise fort, doch wird die Eispyramide früher oder später hohl werden, wenn das Material im Verhältnisse zu der immer mehr zunehmenden Größe der Pyramide stetig abnimmt. Und ging bei Ueberfluß an Wasserdampf gleichzeitig an beiden Enden des länglichen Primitivglobuliten die soeben skizzierte Entwicklung einer groß und lang werdenden Doppelpyramide vor sich, so entstand jenes Gebilde, das später ein Pseudoprisma ward. Ist hingegen wenig Wasser vorhanden oder nimmt es beständig ab, so krystallisieren seine Moleküle von einem gewissen Punkte an nur in stumpfen bez. sehr stumpfen, plattenartigen Pyramiden, aus deren Aneinanderreihung und Aufschichtung nur eine hexagonale Tafel hervorgeht. In diesem Falle bekommt die Basis der erst noch sehr dickwandigen Pyramide plötzlich eine ebene Decke, und je nachdem das früher oder später geschieht, entsteht eines der Primitivzwillingsblättchen, oder die Decke T der in Figur 85 abgebildeten Hohlpyramide, oder die Bedeckelung des auf Figur 86 wiedergegebenen Pseudoprismas A durch die dünnen Tafeln o p und q r.

Die letztgenannte Figur enthält auch die Antwort auf die Frage, wie das ursprünglich äußerst dünne Verbindungsstück zwischen den beiden Primitivtäfelchen dicker werden könne. Die verschieden langen Linien t t . . ., welche auf der die beiden Platten o p und q r verbindenden Walze stehen, sind nämlich mehr oder weniger entwickelte Anfänge von Eistafeln, Bildungen, die man manchmal häufig antrifft und Analoga der anfänglich gleichfalls sehr dünnen Endplatten sind. Daß nun die letzteren niemals sehr groß, dafür aber auffallend dick werden (vgl. Hellmann a. a. O. Taf. VIII Nr. 13 links oben und Nr. 14 links unten), die angefangenen Blättchen hingegen stets sehr dünn

bleiben, ist für uns gerade wichtig; denn das will sagen: Die Moleküle, welche die Endplatten o p und q r so bedeutend verdickten, waren von der Zeit an, wo jene nicht mehr in die Breite, sondern nur noch in die Höhe wuchsen, wieder spitze Pyramiden, deren Polecken zunächst von den Polecken der letzten Schicht der stumpfen Pyramiden angezogen wurden, sodaß weiterhin daselbst sich fast alles über einander lagerte; die Mehrzahl von den Molekülen der dünn bleibenden Blättchen t t . . . aber waren sehr stumpfe Pyramiden, die einander meist mit den Randecken anzogen, sich also vorzugsweise neben einander stellten. Diesen Schluß aus dem, was wir vor uns sehen, nicht zu ziehen, wäre ebenso unnatürlich wie anzunehmen, daß der Maurer seine Ziegel mit den Breitseiten auf einander legt, wenn er nur eine Verkleidung machen will. Wahrscheinlich sind in der Luft ebenso, wie die Nebel- und selber die allerkleinsten Hauchtröpfchen stets ungleiche Größe haben, allezeit größere und kleinere Wassermoleküle vorhanden und die einen oder anderen nur ausnahmsweise vorherrschend, sodaß die krystallisierenden großen zu inhaltreichen, also spitzen, und die krystallisierenden kleinen zu inhaltarmen, also zu stumpfen Pyramiden werden. Und ebenso, wie gewisse, schon makroskopisch große hexagonale Eiskrystalle, die Pseudoprismen, deutlich beide Elektrizitäten, die eine Art an ihrem Aequator, die andere an den übrigen Teilen zeigen, ebenso werden auch die kleinsten Eiskrystalle, die unser Auge zwar nicht mehr erspähen kann, logischer Weise aber da sein müssen, also die in Form von hexagonalen (Doppel-) Pyramiden krystallisierenden Wassermoleküle, an ihren Randecken die eine, und an ihren Polecken die andere Elektrizität besitzen. Die stärkere Elektrizität dieser Eis-Urkrystalle muß selbstverständlich an denjenigen Ecken herrschen, welche am leichtesten kälter oder wärmer werden, mithin bei den spitzen Pyramiden an den Polecken, und bei den stumpfen an den Randecken; endlich wird es dem Umwandlungsgesetze gemäß von der Größe des entstehenden Temperaturunterschiedes abhängen, ob die Polecken oder die Randecken positiv oder negativ sind. Ganz ähnlich wird sich auch das die Primitivzwillingstäfelchen verbindende prismatische Stäbchen verhalten und daher konnte es geschehen, daß das Pseudoprisma (S. 179), dessen Seiten offenbar aus spitzen Pyramiden bestehen, an so vielen Punkten derselben und senkrecht zu ihnen dünne Auswüchse t t . . . bekam, die jedenfalls von sehr stumpfen Pyramiden, die einander mit ihren Randecken anzogen, gebildet wurden Und so wird es begreiflich erscheinen, daß auch die Zwillingsachse allmählich in die Dicke wuchs, indem sie spitze Pyramiden, und daß die Zwillingsblättchen immer größer, aber nur sehr wenig dicker wurden, weil sie stumpfe Pyramiden an sich zogen.

Die soeben wieder erwähnten Primitivtäfelchen weisen aber in der Regel zwei Eigentümlichkeiten auf, die noch der Erklärung bedürfen, nämlich daß ihr Mittelpunkt erhaben ist, und daß sich von ihm in der Regel sechs gleichfalls erhabene Strahlen nach ihren sechs Ecken hinziehen. So unbedeutend diese Dinge erscheinen, so wertvoll sind sie für die Entstehung sämtlicher tafelförmigen Schneekrystalle. Ihre Entstehungsgeschichte ist nur die Geschichte von unzähligen, in bestimmten Richtungen auf einander folgenden und von einem Punkte ausgehenden elektrischen An-

ziehungen kleinster Massen, deren Gesamtheit sich uns als ein Kunstbau präsentiert. Zwar sind wir nicht imstande die einzelnen Bausteine, wie bei einer roh gebliebenen Mauer zu unterscheiden; wohl aber läßt sich aus der Linienführung und Solidität des, wenn auch noch sehr homogen aussehenden Ganzen entnehmen, auf welche Weise die Zusammensetzung erfolgte.

Wenn das eine oder andere Ende des kurzen, fast nur spinngewebefeinen Primitivprismas anfängt, sich mit flachen Molekularpyramiden zu bedecken, und diese zuerst unmeßbar dünne Decke alsbald über ihre Unterlage, also über die Ränder der Endfläche von jenem hinausragt (da die stumpfen Pyramiden, weil ihre Randecken am stärksten elektrisch sind, vorzugsweise mit diesen die Randecken neuer, die gleichsfalls stumpf sind, anziehen und auf diese Weise eine Art von Mosaik, den Anfang des Primitivtäfelchens bilden): So sind, falls die Krystallisation nicht außergewöhnlich langsam geschieht, die ersten der über das Prisma hinausragenden stumpfen Pyramiden noch nicht ganz erstarrt, sondern sie biegen sich infolgedessen nach unten und das umsomehr als neue sich an sie anhängen, die Fläche vergrößern und den Zug nach unten verstärken — nach unten; denn sowie eine der Endflächen des Prismas einen geflügelten Rand bekommt, wird es von diesem getragen werden und mit seinem noch nackten Ende voran nach abwärts wirbeln. Daß entstehendes und erst vor wenigen Sekunden entstandenes Eis wirklich noch weich ist, bestätigt die Berührung der „Blumen" am Fenster; ferner kann man dies bei dem oben beschriebenen Versuche einen Wassertropfen gefrieren zu lassen (S. 164), unter der Lupe wahrnehmen; am besten aber bei der Erzeugung künstlicher Schneekrystalle, wenn das vor unseren Augen wachsende Sternchen (S. 162) mit der Nadel berührt bez. aufgehoben wird: Denn dabei verbiegt es sich und verliert seine Form wie ein soeben gedrehter, also noch weicher Teller, den man, was freilich niemand ohne besonderen Grund thut, nur mit einer Hand in die Höhe hebt. Die freien Ränder der durch fortgesetzte, vorzugsweise seitliche Anziehung von stumpfen Pyramiden entstehenden dünnen Tafel, die zufolge ihrer sechseckigen Unterlage natürlich die Sechseckform behält, werden also rings um jene mehr oder weniger niedersinken wie die eines weichen Kuchens, der größer ist als sein Untersatz, und muß dadurch die ganze Eisscheibe, was thatsächlich fast immer der Fall ist, uhrglasförmig und seine Mitte hügelartig erhaben werden. Von der Uhrglasform des Primitivtäfelchens, das seine Konkavität, wie Figur 79 k und Figur 80 zeigt, immer dem kleineren Zwillingsbruder zuwendet, wird man anfangs allerdings überrascht; allein sie findet durch den angegebenen Entwicklungsgang des letzteren eine ebenso einfache wie einleuchtende Erklärung, ja eine andere ist kaum denkbar.

Wie kommen denn aber die sechs gleichfalls fast immer vorhandenen erhabenen Strahlen auf dem Primitivtäfelchen zustande? Zunächst muß bemerkt werden, daß diese, wie die, wenn auch stärker entwickelten Rippen der langen Blätter der ausgebildeten Schneerosette, nicht solide, sondern umgekehrte Rinnen sind. Nun fallen bekanntlich, indessen nur bei strenger Kälte, Aufklärung und wenig bewegter Luft, neben den gemeinen, S. 171 abgebildeten, bisweilen noch einfachen Primitivtäfelchen auch äußerst zarte Sternchen, deren

Strahlen mehr oder weniger spatelförmig sind, aber fast unmittelbar vom Zentralhügel ausgehen und in demselben Sinne wie dieser erhaben, mithin auf der Unterfläche konkav sind. Fig. 87 a. Hier ist also das Primitivtäfelchen viel früher als sonst, nämlich fast sogleich nach Bildung des Zentralhügels in sechs Streifen ausgewachsen, die in der Richtung ihrer Mittellinie, wie die Rippen des ganzrandigen Primitivtäfelchens, erhaben sind. Folglich war bei der Entwicklung dieser Primitivsternchen (sie sind auch in O. Lehmanns so außerordentlich inhaltreicher Molekularphysik, Leipzig 1889, Bd. II, S. 570 mehrmals, z. B. rechts am Rande und in der Mitte, gut abgebildet) die Anziehungskraft an den sechs Ecken des nur erst über seine Unterlage, das Primitivprisma, hinausgekommenen Primitivtäfelchens unzweifelhaft sehr viel stärker als an den Kanten. Daher ist es höchstwahrscheinlich, daß auch bei der Entstehung des gemeinen Primitivtäfelchens, also bevor es auf die Erde gelangte, zuerst seine den sechs Ecken des Primitivprismaendes entsprechenden Ecken sich nach außen fortsetzten, als spitz endigende Strahlen weiter wuchsen, daß hingegen die zwischen ihnen liegenden Punkte der Peripherie später und langsamer gebildet wurden, wofür der physikalische Grund wieder die dort größere und hier geringere Temperaturempfindlichkeit ist. Zuerst schießen gleichsam sechs Sparren hervor, und während diese in ihrer Mittellinie, weil sie am ältesten ist, schon erhärtet, an ihren beiden Seiten aber noch weich sind, senken sich die Seitenteile des Balkens lappenartig herab, und indem auch sie weiterwachsen, entstehen die sechs vertieften Dreiecke zwischen den zu Tragbalken gewordenen Rippen.

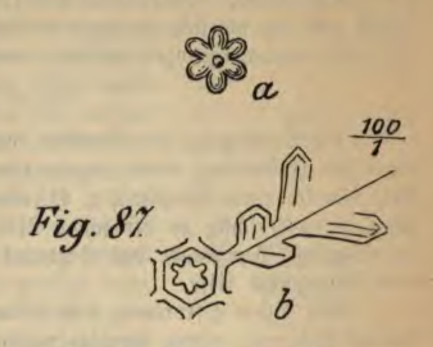


Fig. 87

Anders die kleine Zwillingsscheibe. Unter dem Dache, welches das soeben beschriebene große Primitivtäfelchen über dem Primitivprisma ausbreitet, ist dessen anderes, zunächst noch nacktes Ende lange nicht so sehr den Temperaturwechseln ausgesetzt, wie das, welches sich zuerst tafelförmig weiter entwickelte. Daher wird und bleibt das diese Entwicklung später eingehende Prismaende schwächer elektrisch als jenes, kann infolge dessen gewöhnlich nur in eine kleine und dünne, ebene Scheibe auswachsen und ist auch die unter bez. über der Mittelplatte der großgewordenen, weil aus größerer Höhe herabkommenden Schneesterne befindliche Zwillingsplatte meist nur klein, äußerst dünn, leicht übersehbar und oft ein langgezogenes Sechseck.*) Diese wasserhelle sekundäre Platte ergiebt, wenn sie bei ruhiger Luft, Sonnenschein und starker Kälte sich ausnahmsweise zu einem regelmäßigen Sternchen nach Art der Fig. 87 a entwickelt, der Mittelplatte (zumal wenn diese, wie gewöhnlich bei großen Schneesternen tellerartig (Fig. 80) geworden war) ein überaus zierliches Aus-

*) Hellmann a. a. O. Taf. IV.

sehen (Fig. 87 b), verführt indessen leicht zu dem Glauben, sie gehöre einfach der letzteren, der Mittelplatte, an, während sie sich doch von dieser absprengen läßt. Die kleine Zwillingsplatte ist aber darum nicht gerieft und allezeit eine spiegelblanke, völlig ebene Tafel, weil ihr Wachstum nur langsam geschieht und die spärlich angezogenen Moleküle Zeit haben, völlig zu erstarren, also nicht heruntergebogen werden, wenn sich neue an sie hängen.

Die Verbiegung der Moleküle während ihrer Krystallisation führt aber, wenn die Erstarrung einer ungeheuren Menge von flüssigen Teilchen dieser Art, nämlich eines Tropfens, z. B. eines Nebeltröpfchens, mit einem Male geschieht, folgerichtig zu der schon Seite 169 berührten Erscheinung, die bis zu einem gewissen Grade das Gegenteil von Krystallisation ist, zur Bildung von **amorphem Eise.**

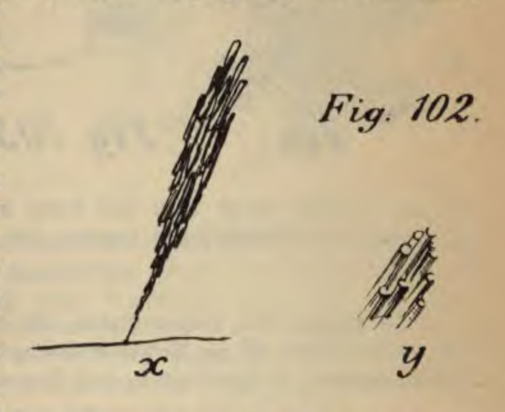
Von einem gefrorenen, sehr kleinen Wassertröpfchen, einer mikroskopisch kleinen Eisperle, einem länglich runden Eisglobuliten gingen wir aus und leiteten von ihm, entsprechend den feststehenden Thatsachen über die Entwicklung der Krystalle im Allgemeinen*), und gemäß unseren eigenen Wahrnehmungen über die atmosphärischen Salzkrystalle (Einl. S. 1—2), das Primitivprisma her. Da nun die Krystalle überhaupt größer werden, wenn die Lösung langsam erkaltet, so läßt sich vermuten, daß die noch erkennbare Krystallisation bei einer gewissen, außerordentlich großen Geschwindigkeit der Abkühlung ganz aufhöre und die an sich krystallisationsfähige Flüssigkeit amorph fest werde. Hierzu gehört aber, daß die letztere nicht nur nicht flach ausgebreitet ist, sondern auch keinen dünnen Rand hat, weil nach einem solchen hin die Abkühlungsgeschwindigkeit schnell zunimmt und diese Beschleunigung für die Krystallisation gerade förderlich ist. Zwar kann man jederzeit sehen, daß der Wasserdampf an den kalten Fensterscheiben überall, wo sie glatt sind, zunächst amorph gefriert, ebenso wie jener, der sich im Winter auf den ausgelegten Objektträgern zuerst niederschlägt; allein die genauere Beobachtung dieses Vorganges ist in beiden Fällen unbequem und nach Lage der Sache etwas unsicher, sodaß ich dem Verhalten möglichst kleiner Wassertropfen während eines hochgradigen Temperatursturzes auf andere Weise beizukommen suchte.

Wenn man bei ca. 20° Kälte am offenen Hausflurfenster auf den ebenso kalten Objektträger unter der Lupe bei 60—100facher Vergrößerung ein wenig haucht, so sind die Tröpfchen augenblicklich amorph gefroren. Da dieselben aber immer noch ziemlich, d. h. beinahe so groß wie rote Blutkörperchen sind, trachtete ich danach noch kleinere herzustellen um zu sehen, ob diese vielleicht sich anders verhielten. Daher führte ich ceteris paribus die zugespitzte Holzsonde eine Sekunde an die feuchten Lippen und hielt sie gleich darauf bei 60facher Vergrößerung ein paar Augenblicke unmittelbar über den so kalten Objektträger ins Gesichtsfeld. Sofort hatte sich daselbst

---

*) H. F. Link. Ueber die erste Entstehung der Krystalle Pogg. Ann. 46, 258. 1839.

sei überdies erwähnt, daß man, wenn die Mutterpyramiden manchmal, nämlich im dichten Gedränge zwischen den so kolossalen Vegetationen auf den äußersten Kanten und Ecken des Objektträgers, außergewöhnlich schmächtig werden und nun ringsum dicht mit ebenso schlanken kleinen Prismen und Pyramiden besetzt sind, bei schwachen Vergrößerungen nur keulenförmige Bündel von parallel an einander und auf einander stehenden Nadeln sieht (Fig. 102 x), die sich aber bei stärkerer Vergrößerung als aus äußerst engen und äußerst schmächtigen Hohlpyramiden zusammengesetzt erweisen (y). Diese langen Zotten fallen, mit bloßem Auge oder mit der Taschenlupe gesehen, ungemein und zwar darum auf, weil sie gegen ihr freies Ende hin immer dicker werden, am aufsitzenden hingegen anscheinend widernatürlich dünn bleiben; doch haben wir eine ähnliche Pyramidengesellschaft schon auf Figur 73 z S. 159 kennen gelernt. Widernatürlich sieht es namentlich dann aus, wenn diese Klöppel aus irgend einem Grunde schief stehen; denn man kann nicht begreifen was eine solche Last vor dem Umfallen schützt. Wir werden aber Kap. 26 sehen, daß elektrische Fäden außerordentlich viel tragen können, und bemerke ich hier nur, daß das Nichtabbrechen der an ihrem freien Ende so sehr schweren Rauhreifzotten nichts anderes ist, als wenn die Spinne auf dem Faden, den sie soeben spinnt, wie auf dem freien Ende einer mehr oder weniger wagerechten Stange, die hinter ihr zusehends wächst, weiter läuft, weil der Faden von der leicht bewegten Luft elektrisiert (S. 152) und in der Schwebe erhalten wird.



Nach alledem bedarf es kaum noch eines Wortes darüber, daß auch viele Teile der ausgesprochen flächenförmigen Schneekrystalle, nämlich die breiten, dünnen etwas konkaven Platten derselben ruckweise wachsen, und daß vor allem die sogenannten Facetten der Mittelscheibe (Fig. 103 A*) von stufenbildenden Umbiegungen herrühren, deren erste uns bereits S. 172 Fig. 80 beschäftigte.

---

*) Das Sternchen in der Mitte der schönen Scheibe ist ihr Zwillingsbruder, und sein Gegenüber hatte, ehe es sechsstrahlig auswuchs, sich zunächst nur zu einem Teller (nach Art der Primitivscheibe in Figur 80) ausgebildet. Die kleeblattförmigen Fortsetzungen der sechs Ecken waren aber so zart und fein, daß davon bei schwacher Vergrößerung in der Zeichnung nur die kleinen Nebelperlen, die von ihnen massenhaft angezogen worden waren, wiedergegeben werden konnten. Uebrigens breiteten sich die sechs luftigen Auswüchse nicht horizontal aus, sondern (Fig 103 B) in der Richtung der letzten Stufe der flachen Schlüssel, die das Ganze von der Seite her betrachtet, darstellt.

elektrisch, bez. stärker elektrisch und angezogen; gleichzeitig aber schlossen sich infolge der entstandenen, bez. verstärkten Elektrizität des Moleküls auch seine Atome so nahe wie möglich an einander. Denn da uns noch niemand sagen konnte, was ein Atom eigentlich ist, so dürfte im Hinblick auf die Unmöglichkeit das Kleinste sich nicht noch kleiner zu denken, die Annahme erlaubt sein, daß das Molekül zusammengesetzt sei aus einer sehr großen, aber für jeden Körper nahezu bestimmten und unter gewöhnlichen Verhältnissen untrennbar fest zusammenhaltenden Menge von verschiedenen Atomen, die zu einander in dem von der Chemie festgestellten Zahlenverhältnisse stehen, und sich zu entsprechend vielen allereinfachsten Atomgruppen mittelst elektrischer Anziehung, die von der Verschiedenheit der spezifischen Wärme der Elemente selber herrührt, an einander lagern. Weil aber das materielle Ergebnis jener Verdichtung ein Würfel oder eine hexagonale Pyramide sein muß, so wird auch das aus sehr vielen einfachsten Atomgruppen zusammengesetzt gedachte Wassermolekül schon mehr oder weniger deutlich die Umrisse von einem dieser Körper haben, und wäre das letztere gleichfalls schon ein geordneter, wenn auch nur loser Aufbau von sehr vielen gleichartigen kleinen Teilen. Obwohl nun im flüssigen Wasser, im Wassertropfen, die Moleküle einander viel näher sind als beim Wassergase, woraus die Schneekrystalle entstehen, so werden sie bei hinreichend tiefem Temperatursturze sicherlich gleichfalls elektrisch werden und sich infolgedessen aufs Engste an einander hängen; aber eben weil die Entfernungen zwischen den Flüssigkeitsmolekülen schon sehr klein waren, so geschieht ihre elektrische Verkettung zweifellos so schnell, daß die ersten Krystallmoleküle noch festweich waren als die letzten fertig wurden, daß sie also sämtlich noch nicht die Fähigkeit besaßen dem Drucke zu widerstehen, welchen die bleibende elektrische Anziehung ausübt, daß sie sich mithin alle verbogen, verzerrten und ihre Anziehungszentren, ihre Ecken, in Unordnung kamen. Langsam, wenn sie auch für unsere schwachen Augen immer noch zu rasch ist, muß die Aneinanderreihung der gefrierenden Moleküle geschehen können, sonst verdrücken sie sich gegenseitig und kann das entstehende Ganze nicht nur keine bestimmten Winkel, Flächen und Achsen, sondern auch kein regelmäßiges Innere, keine gesetzmäßige Struktur bekommen. Der Amorphie lag also, wie schon **Frankenheim** annahm, ebenfalls eine Art Krystallisationsprozeß zu Grunde, aber ein derartig **überstürzter**, daß die Moleküle während des Festwerdens ihre gesetzmäßige Form und Anordnung einbüßten, die sich beide für die Neubildung aus der Beschaffenheit der ersteren von selber ergeben haben würden, wenn das Baumaterial die nötige Zeit zu einem gewissen Grade von Erstarrung gehabt hätte.

Daher entstehen, wenn bei hoher Kälte der Nebel sehr stark zunimmt, die Luft also außerordentlich feucht wird und die Wassermoleküle einander ungewöhnlich nahe kommen, so daß von den Kältezentren, den kältesten weil erhabenen Punkten und Linien eines beliebigen Gegenstandes, sehr viele Moleküle auf einmal oder doch ungeheuer schnell hinter einander angezogen werden, wenn also auch im Freien das sich bildende Eismaterial nicht auf-

gebaut werden kann, sondern gleichsam aufgeschüttet wird, an den Grasspitzen, frei hervorragenden Fäserchen, an den scharfen Rändern der Lenticellen und dergl. jene traubigen Klöppel, also keine Krystalle, sondern nur amorphe Eismassen, wie sie Fig. 89 naturgetreu darstellt. Dasselbe gilt auch für die Versuche kleine Wassertröpfchen gefrieren zu lassen; und weil an der Oberfläche des amorph gefrorenen Eises der Theorie nach viele, wenn auch eben nicht regelmäßig geordnete Ecken und Kanten hervorragen müssen, so ist es leicht erklärlich auf welche Weise diese Massen, sowie die Umstände sich bessern, erst an der einen oder andern Stelle bez. Fläche krystallinisch werden und schließlich vollkommene Krystalle entstehen können.



Fig. 89.

Bis hierher sind wir durch die Entwicklungsgeschichte der scheibenförmigen Primitivzwillinge gelangt. Allein es kommen bekanntlich auch sehr oft Schneesterne vor, deren Strahlen nicht von einer wohlbegrenzten Zentralscheibe abgehen, sondern fast unmittelbar aus einem Globuliten zu entspringen scheinen. Um nun genau zu erfahren, wie sich die Sache verhält, muß man 1. die stärksten Vergrößerungen, also 60—100 anwenden; 2. sich an den Zwillingsbruder, wenn er ebenso gebaut ist, halten, weil er auch hier in der Entwicklung gewöhnlich sehr zurück ist, also zeigt, wie der große Bruder entstanden ist; und 3. fleißig aufs Hohe stellen. Denn was von oben wie ein Kügelchen aussieht, erweist sich von der Seite betrachtet als die mit Luft gefüllte, und infolgedessen äußerst scharf umschriebene Höhle einer Pyramide bez. Doppelpyramide, wie wir sie S. 173 kennen gelernt haben. Außerordentlich schöne Photogramme dieser Art von Schneesternen sehen wir auch bei Hellmann-Neuhauß auf Tafel I rechts und links ziemlich in der Mitte, sowie auf Tafel IV Nr. 5; man muß aber, um ihre Mitte zu verstehen, unbedingt die Lupe nehmen. Unser bei 100facher Vergrößerung skizzierter Stern der Figur 90A ist der große, und B der kleine Zwillingsbruder; jener lag oben und dieser unten, und bei beiden sieht man die mit einer hexagonalen durchsichtigen



18 3/III. 89. Fig. 90.



peraturschwankungen hin, die, in Elektrizität umgesetzt, die Stoffteilchen an einander fesseln oder auch — auseinander treiben; und auf diese beiden Vorgänge läuft doch alles Sein, Werden und Vergehen hinaus.

Der Unterschied dieser Pyramiden von jenen des Reifes beruht, wie schon angedeutet, im Wesentlichen nur darauf, daß der kälteste Ort, das Elektrizitätszentrum dort bewegliches Material fast nur in wagerechter, hier aber fast nur in senkrechter Richtung, nämlich von oben her, an sich ziehen konnte; daher gingen die Reifkrystalle vorzugsweise in die Höhe, die Salzkrystalle aber mehr in die Breite. Jedoch zu einem durch und durch soliden Bauwerke reichten die Bausteine in beiden Fällen nur anfangs hin, nämlich bis zur Entstehung des winzigen flachen Primitivprismas; und in dem Maße als die Ecken und Kanten des aus der Salzlösung auftauchenden Salzprismas wuchsen, schnitten sie, je nachdem dieses Elektrizitätszentrum nur auf der Oberfläche lag oder tiefer hinabreichte, der eingeschlossenen, viereckigen Fläche früher oder später selber das Material zum Wachsen ab, während der höher und weiter werdende viereckige, durch die Verdunstungskälte immer wieder von neuem elektrisch werdende Rahmen einen Caisson darstellte, der sich selber leer pumpte, weil seine Innenseiten die von ihnen abgesperrte Flüssigkeit bis auf das letzte Tröpfchen an sich rissen. Da nun bei großen, dicken, würfelartig hohen Kochsalztrichtern die Streifen oft so dicht und zahlreich sind, daß ihre vier Viertel bei durchgehendem Lichte förmlich schwarz erscheinen, so erkennen wir auch daraus die Menge und Kleinheit der Temperaturabfälle während der kurzen Zeit, binnen welcher ein solcher Krystall sich bildete, und befinden uns, was von höchstem Werte ist, in Uebereinstimmung mit den Mineralogen, die den diesen Formen zu Grunde liegenden Vorgang so sehr treffend einen oscillatorischen nennen.

Spiegeln sich aber in jenen so engen Parallelen, die der makroskopischen Streifung der Krystalle entsprechen, unzählige, rasch hinter einander erfolgte Wiederholungen einer Elektrizitätsursache ab, und erinnern wir uns daran, daß die Krystallisation nur die idealste Ueberführung des flüssigen oder gasförmigen Zustandes in den festen ist, ein Bewegungsvorgang, der zwar sehr leicht, aber doch nur insofern störbar ist, als die Verdichtung und engste Aneinanderlagerung der Moleküle nicht zu einer bestimmten Form führt, so ist zu schließen:

Die unaufhörlichen, zwar äußerst kleinen, aber plötzlichen Temperaturwechsel und die durch dieselben ebenso oft erregte Elektrizität sind die Ursache, daß auch die Moleküle der nicht krystallisierten Körper beisammenbleiben; daher bedarf es jederzeit einer stärkeren, in der Regel auf Erwärmung beruhenden Elektrizitätserregung, um den molekularen Zusammenhalt zu lockern, zu lösen oder von neuem, wenn auch oft in anderer Weise, wieder herzustellen.

Folglich ist jeder Körper bald mehr bald weniger elektrisch und hängt es nur von der Gunst der Umstände ab, ob die ihm innewohnende Kraft stärker bez. so stark wird, daß sie sich nach außen hin in einer für uns wahrnehmbaren Weise betätigt.

Was sich hieraus für die lebenden Wesen, auf welche wir schon so oft Bezug nahmen, für die Physiologie, die Pathologie, die Therapie und viele Zweige der Naturlehre, vor allem aber für die Chemie folgern läßt, scheint unabsehbar; denn die letztere Wissenschaft ist ja der Inbegriff der feinsten, wenn auch noch nicht wahrnehmbaren physikalischen Vorgänge, aus denen sich immer weniger feine, mehr erkennbare und schließlich so deutliche Erscheinungen und Zustände entwickeln, daß wir sie mit Augen sehen und mit Händen greifen können. Und wenn wir die kostbaren Schätze der Chemie, die der Geist, die Kunst, der Fleiß so vieler großer Forscher vor uns ausgebreitet hat, in diesem Sinne zu verstehen suchen, so werden sich auch Mittel und Wege zu größeren Fortschritten finden. Als A. C. Becquerel einst auf die Vermutung kam, daß dank der Sonne der ganze planetarische Raum mit Elektrizität erfüllt sei, die je nach Umständen bald stärker bald schwächer auftritt, schwebte ihm offenbar schon vor, was heute immer klarer wird: Daß sie auch in und zwischen den denkbar kleinsten Massen herrscht, schafft, zerstört, wieder bildet und immer da ist, weil die Temperatur beständig schwankt, die Kraft, die wir, ich wiederhole es, durchaus nicht wirklich zu erzeugen imstande sind, sondern durch gewisse Kunstgriffe, weil diese alle die natürlichen Elektrizitätsursachen nachahmen, zunächst nur um so viel verstärken können, daß sie durch unsere verhältnismäßig groben Mittel direkt nachweisbar ist. Allerdings möchte die Krystallisation, mit deren Hilfe wir soweit gekommen sind, noch genauer beobachtet und tiefer erforscht werden als dies einem Laien möglich ist: indessen schon jetzt erscheint nicht zweifelhaft, daß durch die Streifung der Krystalle unser Umwandlungsgesetz, die Beobachtung so vieler Zeichenwechsel bei steigender oder fallender Temperatur bestätigt wird, und versteht sich nun recht gut, daß die Nullelektrizität z. B. zwischen der Positivität a und der Negativität b (Fig. 106) in dem senkrechten Stücke 1 gelegen haben muß, und daß die hierauf anhebende Negativität dem wagerechten Stücke b entspricht, bis diese, weil von einem gewissen Punkte an immer schwächer werdend, nur noch den senkrechten Teil 2 der nächsten Stufe anfangen kann, und die hierauf folgende Positivität c alsbald stark genug geworden ist, um analog der vorhergehenden Negativität, die weit ausladende Fläche zwischen 2 und 3 herzustellen u. s. f. Das sind keine Vermutungen, sondern Schlüsse, die auf teils bekannten, teils auf den in diesem Werkchen dargelegten Thatsachen beruhen. Und so dürfte auch die Polymorphie der Krystalle, der man unter dem Mikroskope auf offenen Objektträger so sehr häufig begegnet, wiederum nur der Ausdruck des auf verschiedenen Temperaturstufen und unter verschiedenen Umständen wechselnden Verhältnisses von Kraft und Stoff sein.

Fig. 106.

Kapitel XXII.

Die intensive Einwirkung des Spirituspinsels auf Wassertropfen verschiedener Größe und Gestalt. Elektrische Bewegungen der Stärkekörner im Wassertropfen während und nach der Einwirkung des Spiritusdampfes. Die vom Spiritusdampfe elektrisierte Hälfte des Stärkewassertropfens ist ein galvanisches Element mit gesetzmäßig angeordneten Kreisströmen. In sehr flüchtigen Flüssigkeiten entstehen bei ihrer Verdampfung von selber heftige Kreisströme. Brown'sche Molekularbewegung.

Die so merkwürdige, unter der Einwirkung des Spirituspinsels auf den Stärkewassertropfen gleichzeitig erfolgende Anziehung und Abstoßung bez. Abstoßung und Anziehung, die uns S. 140—143 beschäftigte und auf die Adhäsion, die Kondensation und Krystallisation brachte, wiederholte sich, jedoch in sehr viel höherem Grade, wenn wir statt nur die Spitze des Spirituspinsels und dieselbe blos von oben her auf den Stärkewassertropfen einwirken zu lassen, dem letzteren möglichst viel von dem ersteren, also eine Langseite und zwar tief unten vom Rande her bis fast zur Berührung nähern. Denn in diesem Falle erwärmt sich die Emulsion durch den Alkoholdampf selbstredend ungleich mehr als in dem zuerst angenommenen und liegt dabei wieder absolut kein anderes physikalisches Moment von ähnlicher Tragweite vor. Da jedoch zugleich mit den Fremdkörpern auch das Wasser, worin sie sind, in Bewegung gesetzt wird oder werden kann, so müssen wir zunächst untersuchen, ob in der intensiven Einwirkung des Spirituspinsels auf einen für die Arbeit unter der Lupe großen halbkugeligen, und auf einen kleinen flachen bez. länglichen Tropfen Brunnenwassers, das keine Fremdkörper zu enthalten braucht, ein Unterschied besteht.

Jeder bei 16—17° Zimmertemperatur soeben auf den Objektträger gesetzte mittel- d. h. 3—4 mm große Wassertropfen von derselben Temperatur wird, wenn er nur stark gewölbt, also recht hoch ist, von dem ihm bei angehaltenem Atem von der Seite her möglichst nahe gebrachten Spirituspinsel sogleich in ganz ähnlicher Weise, indessen in etwas geringerem Grade angezogen, wie jener von dem durch den Hauch erwärmten Glase (S. 132). Strömt aber während der Einwirkung des Spirituspinsels etwas Atem zu, so bemerkt man, daß die obenauf schwimmenden kleinen Stäubchen entschieden leichter beweglich sind als wenn kein Alkohol auf das Wasser einwirkt. Und setzt man unter der Lupe, statt den Spiritus auf dem Pinsel verdampfen zu lassen, neben einen gewöhnlichen halbkugeligen Wassertropfen einen Tropfen Spiritus hin, so ziehen nicht nur beide einander an, sondern die Beweglichkeit der bewußten Stäubchen im Hauche ist jetzt noch viel größer. Da wir nun (S. 135 f.) sahen, daß die Oberfläche des Wassers nur dann so leicht erzittert, wenn sie zur Elektrizitätsquelle gleichnamig geworden ist, und ferner (S. 141 f.), daß die oben auf ihm liegenden Stäubchen dies nur allzu leicht werden, so ergiebt sich auch auf diesem Wege, daß der Wasserberg, während sein Fuß sich zum genäherten Spiritus un-

gleichnamig zeigt, in der Höhe mit ihm gleichnamig elektrisch ist — offenbar wurde die von dem Spiritus weiter entfernte Konvexität des Wassertropfens weniger stark erwärmt als sein Rand und bekam nur die Influenzelektrizität zweiter Art.

Bleibt indessen ein stark gewölbter großer oder kleiner Wassertropfen einfach so lange ruhig dastehen, bis er durch die Verdunstung flach geworden ist, so wird er von dem Spirituspinsel sofort abgestoßen, d. h. von welcher Seite man ihm den letzteren auch nähern mag, das betreffende Segment der Flüssigkeit weicht augenblicklich weit zurück und zittert dabei der zurückgedrängte Tropfenrand im schwachen Hauche (durch die Nase) ganz ähnlich, nur nicht so stark, wie jener eines der vom Spirituspinsel abgestoßenen, ja gleichfalls nur flachen Tautropfen (S. 136). Hier könnte man nun sagen, daß der Wassertropfen schon bevor ihm der Alkohol genähert ward, nämlich durch die mit der Verdunstung und der in Rede stehenden Behandlung einhergehenden Temperaturänderungen elektrisch geworden sei. Zwei weitere Beobachtungen zeigen jedoch, daß dies in nur sehr unbedeutendem Grade der Fall gewesen sein kann.

Legt man nämlich im 14—18° warmen Zimmer mittelst eines feinen Pinsels, von welchem die meisten Haare abgeschnitten worden sind, (Fig. 107 Pl) einen langen, schmalen und flachen Wassertropfen W dadurch auf, daß man mit ihm, nachdem er in ein paar Grad kälteres Wasser getaucht wurde, das Objektglas, das mit Spirituswasser in einem niemals fettig gewesenen Gefäße gewaschen und mit ganz reiner Leinwand geputzt worden sein muß, horizontal berührt: So rutscht dasjenige Ende von W, welchem man einen mit Spiritus getränkten andern Pinsel von der Seite her nähert, unglaublich schnell, und bei niederer Temperatur schon aus großer Entfernung bis über 1 mm zurück in die andere Hälfte hinein, und wird daselbe z. B. a, von der Elektrizitätsquelle weiter verfolgt, so läßt sich die oft über 5 mm lange Wassermasse, zumal wenn ihr anderes Ende ebenso behandelt wird, binnen wenigen Sekunden in den nahezu halbkugeligen Tropfen von gewöhnlicher Art zusammenschieben, wie ihn W¹ darstellt. Durch Verdunstung also konnte der Wasserstreifen, der, nachdem er aufgelegt worden war, unverzüglich dem Spiritusdampfe ausgesetzt wurde, nicht merklich niedriger werden, er sollte eben von Hause aus sehr flach sein, und dies ist, wenn man das Objektglas nicht der Wärme aussetzen will, auf die angegebene Weise am besten, nämlich ohne weitere Manipulationen, zu erreichen. Das Merkwürdige ist nun, daß die langen Seiten des Wassertropfens W sich von dem ihnen genäherten Spirituspinsel nirgends ein-

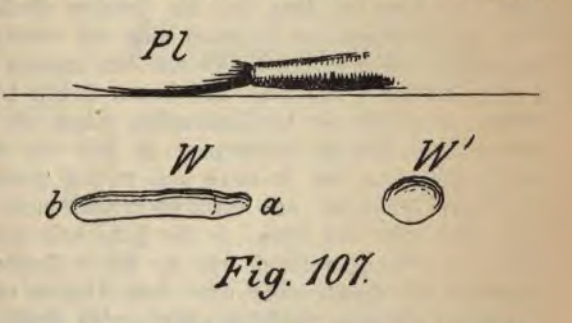


Fig. 107.

drücken lassen, sondern daß, wie man auch den letzteren halten mag, dabei immer nur die Schmalseiten des ersteren und jetzt meist beide zugleich, sich auf die Mitte desselben, bez. auf seine zufällig breiteste Stelle zurückziehen. Ist es aber die plötzliche Temperaturerhöhung, wodurch das Wasser überhaupt elektrisch wird, so erklärt sich die blitzschnell beginnende Aufrollung des Wasserstreifens, also seine höchstmögliche Elektrisierung, ganz von selber: Die stumpfe Spitze a oder b von W erwärmt sich durch den Alkoholdampf viel leichter als ein entsprechend großer Teil der Langseiten a b. Die Probe darauf stimmt vollkommen. Wenn man nämlich Mikroskop und Körper um einige Grade, d. h. bis auf etwa 23° erwärmt, dem Wasser aber, in welches der tropfengebende Pinsel Pl getaucht wird, seine niedrige Temperatur läßt, so vermag der Spirituspinsel eines der Enden des länglichen Wassertropfens nur sehr wenig oder gar nicht mehr abzustoßen, und dies fällt damit zusammen, daß das auf die warme Unterlage gelegte Wasser durch die Annäherung des Spirituspinsels lange nicht um so viel wie vorher, wo Instrument und Träger kalt waren, wärmer werden kann. Erwärmt sich aber der Tropfen gleich beim Auflegen rasch, so muß er, so lange die Erwärmung dauerte, schon damals elektrisch gewesen sein; und auch dafür haben wir ein bestimmtes Zeichen. Denn während der mit Wasser getränkte Pinsel Pl auf kalter Unterlage einen Wasserstreifen giebt, der genau so lang wie die berührte Stelle, und allenthalben sehr seicht ist, so gelingt das durchaus nicht auf erwärmtem Glase, sondern im Augenblicke, wo man den Pinsel von dem letzteren aufhebt, fährt der Wasserstreifen, der unter ihm war, von beiden Seiten her mehr oder weniger zusammen und wird ein verhältnismäßig kurzes, oft recht ansehnlich gewölbtes Oval. Diese plötzliche Verkürzung ist hier wie dort elektrische Abstoßung, die Fortbewegung der so warm wie möglich gewordenen beiden Enden der aufgelegten Flüssigkeit von einer Elektrizitätsquelle. Denn in dem Augenblicke, wo man den Pinsel in die Höhe hebt und damit den Körper, der das Glas erkältete, entfernt, tritt die höhere Temperatur des übrigen Glases wieder in ihre Rechte: Das unter dem Tropfen und in seiner unmittelbaren Umgebung plötzlich abgekühlte Glas wird durch Leitung sogleich wieder wärmer, der letztere ebenfalls und an seinen Enden am meisten; folglich werden beide Körper elektrisch, gleichnamig elektrisch und stößt der unbewegliche, das Glas, seinen beweglichen Nachbar, das Wasser, ab.

Wie verhält es sich aber, wenn man einen Wassertropfen nimmt, dessen eine Hälfte (Fig. 108 A b) viel voluminöser, viel breiter und höher ist? Nur das seichte Ende a wird vom Spirituspinsel abgestoßen, dagegen das halbkugelige bei b angezogen, jedoch erst wenn ihm dieser viel näher, d. h. so nahe wie möglich gebracht wird; mithin nicht gleichzeitig mit der Abstoßung von a, sondern immer $^1/_2$—1 Sekunde später, woraus hervorgeht, daß zur Elektrisierung des massigen Stückes b eine intensivere und längere Ueberschüttung mit Alkoholnebel erforderlich ist, und daß die dadurch entstehende Erwärmung der so großen Wassermasse nur hinreicht, um in ihrem dem Pinsel zugewandten Rande den ersten, den niederen Grad der Fernwirkung, die Ungleichnamigkeit, zu erregen, während das

flache Ende a schon durch viel geringere Erwärmung augenblicklich so vollkommen wie möglich also gleichnamig elektrisch wurde. Wie im Großen bei Influenzierung eines länglichen Gegenstandes b^1 a^1 durch $+$ q (Fig. 108 C),

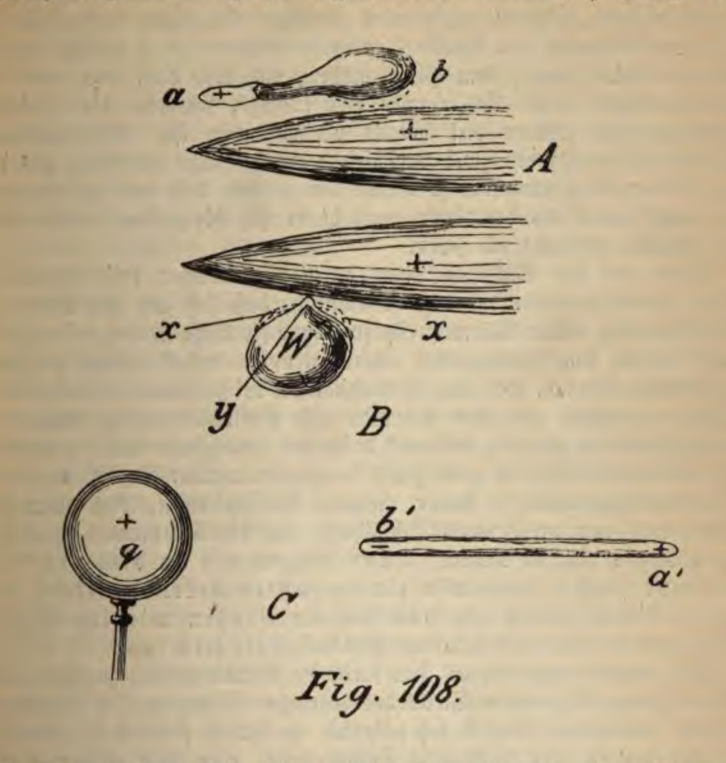


Fig. 108.

haben wir am einen Ende des kolbenförmigen Wassertropfens die ungleichnamige, und am anderen Ende die gleichnamige Elektrizität hervorgerufen; allein zwischen beiden Fällen besteht der bemerkenswerte Unterschied, daß die gleichnamige Elektrizität am dünnen Ende des Wassers nicht wie bei a^1 tiefer als die Elektrizität von b^1, sondern im Gegenteil höher rangiert als jene von b, weil bei a gar keine Anziehung beobachtet werden konnte, die J-E I-Art also übergangen wurde und sogleich jener höchste Elektrisierungsgrad entstand, den wir erreichen, wenn wir z. B. — b^1 der Quelle $+$ q immer mehr nähern. Kolbenform, wo also das eine Ende nicht blos viel breiter, sondern auch sehr viel stärker gewölbt ist als das andere, bekommt aufgelegtes Wasser aber nur selten; daher stellte ich das, worauf es mir ankam, künstlich her, indem ich aus einem gewöhnlichen, halbkugelförmigen, etwa 3 mm großen Tropfen mittelst eines steifen Haares einen kleinen, flachen Fortsatz y (Fig. 108 B) herauszog. Es geht das sehr leicht mit einem (ausgedienten) Pinsel, von welchem sämtliche Haare bis auf ein halbes abgeschnitten worden sind, oder auch mit einer sehr feinen Nähnadel,

und macht dieser Eingriff in den Tropfen, wenn derselbe nur von Hause aus hoch genug ist, keine Störung; dann sieht man daß, nachdem W den kleinen Fortsatz bei Annäherung des Spirituspinsels mit einem Male, wie die Schnecke ihre „Fühler" mehr oder weniger eingezogen hat, dafür der rechts und links neben der Stelle y gelegene Wasserrand x x sich, wie die punktierten Linien zeigen, dem Pinsel nähert, daß also das, was man sonst Influenzelektrizität erster Art nennt, erst entsteht, nachdem die scheinbare Influenzelektrizität zweiter Art bereits verschwunden ist. Und zieht man mittelst des steifen Haares zwei verschieden große flache Fortsätze aus dem stark gewölbten Wassertropfen, so weicht der größere vor dem Spirituspinsel weniger weit zurück als der kleine, weil dieser sich bis zu dem erforderlichen Grade schneller erwärmt als jener.

Wäre nun die Substanz eines z. B. im Wasser frei schwebenden Tropfens so leicht erwärmbar und so elastisch, daß sich aus ihm durch eine ihn elektrisierende, lokale Wärmequelle so dünne Fortsätze herausziehen ließen, wie wir das an dem aufliegenden Spiritustropfen der Salzsäure gegenüber sahen, Fortsätze, die sich, weil ihre Elektrizitätsart bei zunehmender Erwärmung ihr Zeichen wechselt, vor der Wärme- und Elektrizitätsquelle früher oder später zurückweichen mußten, während dafür der benachbarte Teil des ungleichmäßigeren Tropfen**körpers** nach jener hingezogen wurde: So hätten wir die rätselhaften Bewegungen so vieler niederer Wassertierchen, vor allem jene der **Amoeben** vor uns, wenn sich ihnen ein die Temperatur ihrer Umgebung ändernder Körper nähert. **Dann fingen wir an dies und Ähnliches zu verstehen, was wie ein bewußtes Leben aussieht, und doch nur die Wirkung der das All im Großen wie im Kleinen beherrschenden Naturkraft, der Elektrizität, sein kann.**

Nicht anders wird es mit den farblosen Blutkörperchen zugehen, wenn sie sich an einer entzündeten Stelle des Körpers anhäufen: Im Blutstrome, dem höher temperierten Bezirke sich nähernd, werden sie stellenweise elektrisiert, so daß aus der so sehr plastischen Substanz der eine oder andere Fortsatz heraus-, daselbst angezogen und in der Nähe der Wärmequelle so lange festgehalten wird, bis ihre Elektrizität das Zeichen wechselt, die Fortsätze abgestoßen werden, dafür die Influenzierung des **Protoplasmaleibes** eintritt und nun dieser so lange angezogen wird, als es indirekt die Temperatur und direkt die durch diese hervorgebrachte Elektrizität gebietet.

Sich wirklich vor Augen geführt muß man die verschiedenen Einwirkungen des Spiritus auf einen unregelmäßig geformten Wassertropfen freilich haben, wenn sie an Lebendiges auch lebhaft erinnern sollen.

Folgt nunmehr das Auffallendste bei der Anziehung und Abstoßung bez. Abstoßung und Anziehung kleiner, auf und in dem Wasser befindlicher Fremdkörper.

Es handelt sich dabei im Großen und Ganzen nicht mehr um die winzigen Staubteilchen, deren elektrische Bewegungen wir Seite 141—143 beschrieben, sondern um die eigentlichen Stärkekörner in bez. auf dem Wasser-

tropfen, den wir auf das Objektglas auflegen; und da man die meisten von ihnen schon bei 15facher Vergrößerung recht gut erkennen kann, so machen die nun folgenden Versuche keine Schwierigkeit. Sie sind aber auch dadurch ausgezeichnet, daß die Bewegungen, in welche eine große Menge dieser zierlichen Gebilde durch die Elektrisierung mittelst der Dämpfe von flüchtigen, im Wasser löslichen Flüssigkeiten geraten, selber für den Kenner immer wieder etwas überaus Fesselndes an sich haben. Daher ist es für den Anfänger ratsam, sogleich, nachdem er die Grundversuche über die Anziehung und Abstoßung ganzer großer Tropfen ausgeführt hat, die folgenden, und später erst die nur aus formellen Gründen vorausgeschickten feineren vorzunehmen.

Die elektrischen Bewegungen der Stärkekörner sind erstens solche, die **während**, und zweitens solche, die **nach** der Einwirkung der betreffenden Dämpfe vor sich gehen.

Da nun die Beobachtung von Bewegungen selbstredend besser geschehen kann, wenn sie einesteils nicht zu schnell, und anderenteils nicht an sehr vielen Punkten zugleich auftreten, so benutzen wir nicht den so äußerst flüchtigen Schwefeläther, welcher jene im höchsten Maße, d. h. in größter Geschwindigkeit hervorruft, sondern eine Flüssigkeit, die das in mittlerem Grade thut, und deren Anwendung auch sonst auf die Dauer nichts so Unangenehmes wie jener hat, nämlich wieder den Alkohol, zumal man ihn nach Belieben schwächer machen kann und er noch in großer Verdünnung wirkt. Ob es besser ist eine ziemlich dicke, oder eine dünne Stärkeemulsion zu nehmen, richtet sich nach dem Zwecke: Will man zunächst nur das großartige Schauspiel heftiger Wirbelbewegungen haben, derselben, die schon von so vielen Naturforschern, aber wohl nur unter dem Deckglase, wo alles beengt ist, beobachtet wurden, so muß die Emulsion ziemlich dick und der Tropfen groß, d. h. bis 5 mm lang und ca. 3 mm breit, aber ziemlich niedrig sein; sollen hingegen die einzelnen Bewegungen studiert werden, ehe man unter so erschwerten Umständen richtig zu sehen gelernt hat, so ist eine sehr dünne Emulsion anzuwenden — wird das tropfengebende Instrument in das zubereitete Stärkewasser (S. 140) nur flach eingetaucht, so hat man gleich eine solche — und einen viel kleineren Tropfen aufzulegen.

Was ist nun eigentlich zu sehen? Mit kurzen Worten:

Weithin reichende, sich unaufhörlich wiederholende, aber höchst geordnete Abstoßung und Anziehung **während**, dagegen an unübersehbar vielen Punkten anhaltende, mäßig starke, hier und da aber und immer wieder von neuem auftretende äußerst heftige Anziehung und Abstoßung **nach** der Einwirkung des Spiritus.

Leider läßt sich von alledem nur wenig abbilden; indessen der Versuch ist leicht, und um von dem Ersten, der geordneten, lange anhaltenden Abstoßung und Anziehung ein möglichst großartiges, wenn auch nicht klares Bild zu bekommen, ist abgesehen davon, daß der Tropfen umfangreich, die Emulsion einigermaßen dick sein und der Atem abgelenkt werden muß, nur noch nötig 1. daß der Objekttisch durch die Manipulationen sich schnell beträchtlich erwärme, also nicht zu kalt, 2. daß das Stärkewasser einige Grade weniger, z. B. nur 12—14° warm sei, und 3. daß der Pinsel viel faßt,

also nicht zu dünn ist. Denn unter diesen Umständen erwärmt sich der Tropfen schon vermittelst des Objekttisches, und verdampft vom Spiritus, durch welchen die Elektrizitätserregung auf dem für sie vorbereiteten Boden erst die gewünschte Intensität erreicht, sofort hinlänglich viel. Stark muß die erregte Elektrizität darum sein, weil verhältnismäßig große Lasten, die unzähligen Stärkekörner, die sich voll Wasser gesogen haben, in schnelle Bewegung gesetzt werden sollen und aus demselben Grunde hat man den Spirituspinsel — es ist gerade gut, wenn sich sein Ende von der Füllung etwas spreizt — dem Rande des Stärkewassertropfens von oben und von der Seite her so nahe wie irgend möglich zu bringen und darf ihn vorher nur wenig ausstreichen.

Das Zweite, die unregelmäßige Anziehung und Abstoßung ist aber in der dicken Emulsion, nachdem die Einwirkung des Spirituspinsels hinreichend lange, d. h. etwa eine viertel Minute gedauert hat und die Massen auf eine weite Strecke hin unaufhörlich umgewälzt worden sind, beinahe sinnverwirrend — ein wilder Tanz, wobei nicht nur alles, was sich vorher so gesetzmäßig drehte, durcheinander wogt und wimmelt, sondern auch und an vielen Stellen zugleich viele Körnchen sich blitzschnell zusammenballen, rasend um einander schwingen, auf einmal, wie wenn der Knäuel explodierte, nach allen Richtungen aus einander fliegen, dann ganz unversehens wieder andere und an einem andern Orte auf einander stürzen, abermals heftig wirbeln und wieder aus einander springen — alles wird durcheinander gemengt und so geht es viele Sekunden, ja oft wohl eine ganze Minute lang fort. Dann beruhigt sich das Getümmel allmählich, die Konvulsionen und Explosionen werden, wie die Blitze gegen das Ende des Gewitters, nicht blos seltener, sondern auch schwächer und gleichen schließlich nur noch Zuckungen, zwischen denen immer länger werdende Pausen eintreten, bis alles so ruhig ist, als ob, wie man sagt, nichts gewesen wäre.

Das ist in Kürze zwar eine naturgetreue Schilderung der so höchst merkwürdigen Vorgänge, aber zum Verständnisse derselben kommt man, wie nochmals betont werden muß, nicht beim dichten Gewühle der Stärkekörner, sondern nur, wenn in einem kleinen und flachen Tropfen blos einige wenige von ihnen enthalten sind; denn die Bewegungen sowohl der einzelnen bleibenden als auch der sich zusammenballenden, um einander wirbelnden und plötzlich aus einander geschleuderten Körner geschehen so schnell, daß ihnen, wenn die Umstände nicht sehr günstig sind, kein Auge folgen kann.

a) Die geordnete Abstoßung und Anziehung in sehr verdünnter Emulsion.

Sollen die imponierenden Erscheinungen, die während der intensiven Einwirkung eines großen oder ziemlich großen in Alkohol getauchten Pinsels (Nr. 3 oder Nr. 2) auf einen kleinen Amylumwassertropfen schon bei 15facher Vergrößerung sofort ins Auge fallen, ihrem Wesen nach, wie oben (S. 206) behauptet wird, dieselben sein wie jene subtilen, die bei nicht besonders vor-

sichtiger Einwirkung eines nur kleinen Alkoholpinsels auf einen sehr großen, also unter den gegebenen Umständen viel weniger warm werdenden Wassertropfen sich nur an seinen kleinsten Fremdkörperchen und auch da in keineswegs hohem Grade zeigten (S. 141 f.): So muß die obere Schicht der Stärkekörner sich vom Pinsel fort-, und die tiefere nach demselben hin bewegen. Das ist in der That der Fall. Indessen war mir die Sache zuerst (1890), wo ich nur ziemlich dicke Emulsionen nahm, keineswegs gleich klar; denn ich kannte damals weder die gleichzeitige Hin- und Herbewegung kleinster Teilchen in dem vom verdampfenden Spiritus erregten Tropfen, noch auch das Umwandlungsgesetz, sodaß ich lange Zeit nicht wußte warum die oben so heftig nach der Mitte des Tropfens zu, richtiger bis zu einer der angewandten Pinselseite parallelen Fläche in dieser Gegend fortgestoßenen Körner, wenn sie zum Beispiel an der Fläche FF in Figur 109 angelangt waren, mit beschleunigter Geschwindigkeit zum Rande wieder zurückkehrten und dies in

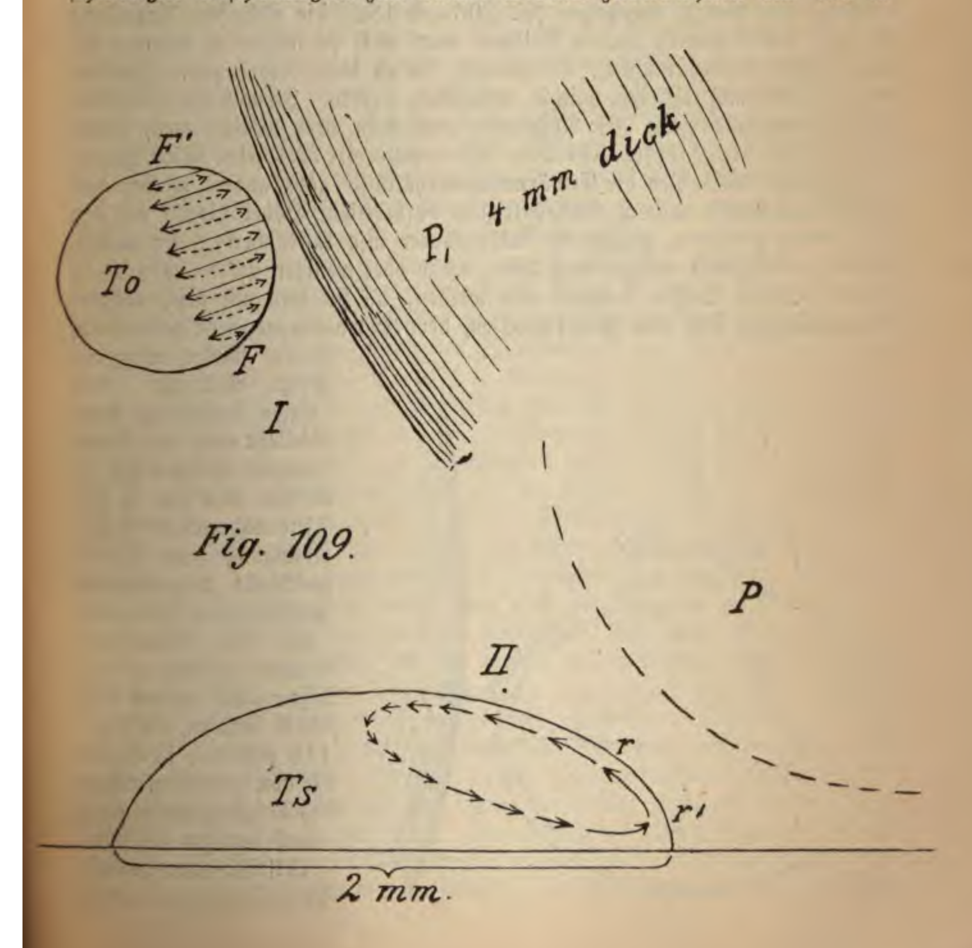


Fig. 109.

der Tiefe thaten, um, am Rande angekommen, ebenso heftig und in derselben Richtung und Höhenlage wie zuvor fortzufliegen u. s. f. Daß diese Bewegungen elektrische seien, konnte nicht mehr bezweifelt werden; aber wie sie zustandekamen, das war die Frage. Von der Antwort haben wir schon oben (S. 142) das Nötigste gegeben; ihre genauere Ausführung betrifft aber einen von den Hauptpunkten der ganzen Abhandlung. Denn schon der erste Blick auf Figur 109 II lehrt, daß die elektrische Anziehung und Abstoßung sich unter günstigen Umständen mit einander **zu einem in sich zurückkehrenden und immer von neuem entstehenden Strome verbinden.**

Wesentlich mehr als die Mitte des Stärkewassertropfens, den in Figur 109 I To von oben und Ts in II von der Seite darstellt, erwärmt sich sein dem Spirituspinsel P so sehr naher Rand r′ r, weil hier die Tiefe des Wassers sehr schnell abnimmt. Darum wird auch der äußerste Rand r′, wiewohl nur wenig, angezogen (S. 206 und 132), die elektrische Anziehung der auf ihm liegenden kleinen Teilchen aber, weil sie wesentlich wärmer als das Wasser werden mußten, übergangen, sodaß diese sofort zum Spirituspinsel gleichnamig elektrisch, mithin abgestoßen werden. Je nach der Intensität der Verdampfung reicht diese Abstoßung zwar mehr oder weniger weit, jedoch selber, wenn der Tropfen sehr klein ist, niemals viel über seine Mitte hinaus — offenbar, weil hier die Erwärmungsverhältnisse ganz andere werden und sich Zeichenwechsel mittelst Nullelektrizität vorbereitet. Höher hinauf auf den Wasserberg getrieben, müssen die Stärkekörner also kälter werden, sie müssen, wenn die Stoßkraft nahezu Null wird, mehr oder weniger sinken, dadurch in immer kälteres Wasser kommen und werden, da sie nun mit beschleunigter Geschwindigkeit nach dem Pinsel hineilen, dem Umwandlungsgesetze gehorchend, immer stärker entgegengesetzt elektrisch. Bei dieser Anziehung, der Rückkehr nach dem Tropfenrande, schließen sich die Körner aber den in der Tiefe während der ersten Abstoßung zum Pinsel gleichfalls entgegengesetzt elektrisch gewordenen und nach ihm strömenden kleinsten Teilchen an und kehren auch vielfach nicht direkt, sondern, wie Figur 110 andeutet, in Bogen, die von den beiden Seiten des Tropfens herkommen, nach der am stärksten elektrisch gewordenen Stelle des Wasserrandes

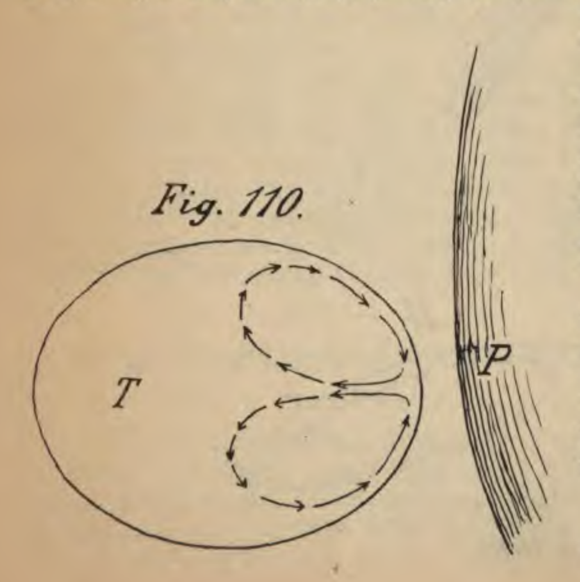


Fig. 110.

zurück, um abermals nach dessen Mitte hin zu schnellen u. s. w. Im Stärkewassertropfen entstehen also flache **Kreisströme** und diese dauern so lange, als der Pinsel Dämpfe aussendet, welche den ersteren in der Nähe stärker und in der Ferne schwächer erwärmen.

Mithin stellt der vom Spiritus aus der Ferne elektrisierte Teil des Tropfenrandes den einen, und ungefähr die Tropfenmitte den anderen Pol eines galvanischen Elementes dar, die Polarität ist aber die Folge des an diesen beiden Orten in größtmöglicher Stärke auftretenden, sich daselbst erhaltenden, also fortgesetzt von neuem erzeugenden Temperaturunterschiedes. Und später (Kap. 29) werden wir sehen, daß elektrische, wiederum höchst regelmäßig angeordnete Ströme in einem Wassertropfen noch auf andere, ja sogar viel einfachere Weise, nämlich durch seine Berührung mit Metallstückchen, sehr leicht erregt werden, indem wir unter dem Kompositum wahrnehmen, daß ebenfalls sehr kleine Teilchen, und zwar der durch die Elektrizität selber massenhaft erzeugten Oxydglobuliten des betreffenden Metalles vom Tropfenrande nach der Tropfenmitte und wieder zurück wandern, und daß sich die Ströme, die beim einfachen Stärkewassertropfen nur während der Einwirkung des Spiritus entstehen, in dem einmal polarelektrisch gewordenen Tropfen halbe Stunden lang, ohne daß wir etwas weiteres zu thun brauchen, beobachten lassen. Denn nicht bloß die Fremdkörper in der Flüssigkeit werden elektrisch, sondern vor allem der Wassertropfen selber, und die kreisförmigen Bewegungen der ersteren bringen uns nur die Polarität des letzteren in überzeugender Weise zur Anschauung.

Die Wassertropfen werden aber auch, und schon wiederholt wies ich darauf hin, umso leichter polarelektrisch, je kleiner sie sind. Denn in einem verhältnismäßig, d. h. 6—8 mm großen Stärkewassertropfen geraten durch den, wenn auch noch sehr genäherten Spirituspinsel nur die allerkleinsten, die 1—5 mm großen Teilchen in kreisende Bewegung; mißt der Amylumwassertropfen jedoch bloß 3—4 mm, so gesellen sich unter der Einwirkung desselben Pinsels zu den Wirbeln der kleinsten Teilchen alsbald auch solche von mittelgroßem, also von 8—12 mm Durchmesser und in einem nur $^1/_2$—2 mm großen Tropfen geschieht dies schon, ehe der Pinsel so nahe wie möglich gekommen ist — zweifellos, weil die kleinere Wassermenge sich leichter erwärmt als die größere und zu einer intensiveren Wärmequelle wird für die sie umgebenden und in ihren Gasen enthaltenen atmosphärischen Krystalle. Daß aber die kleinsten Wassertropfen, welche man noch auf Polarität prüfen kann, die letztere, falls die Bedingungen dazu vorhanden sind, nicht bloß schlechthin zeigen, sondern viel leichter als die großen polarelektrisch werden, erscheint besonders wichtig. Denn diese Thatsache läßt darauf schließen, daß die kleineren Wassertröpfchen, welche in der Luft als Nebel oder Wolken schweben, dieselbe Eigenschaft durch rasche Temperaturwechsel noch leichter bez. in noch höherem Grade bekommen als jene, da die Temperatur der Oberfläche dieser Kügelchen bei Wärmeschwankungen immer verschieden sein muß von der ihres Innern. Mithin bietet diese Ueberlegung einen neuen Anhalt für die Entstehung bez. Verstärkung der atmosphärischen Elektrizität. Da nun eine unmittelbare Wirkung des elektrischen Stromes chemische

Zersetzung bez. chemische Neubildung ist, so nähern wir uns gleichzeitig auch dem Verständnisse dessen, wie durch die Feuchtigkeit der Luft chemische Prozesse hervorgebracht werden können und wie unter Umständen — Lösungen zustande kommen, weil mit Erregung der Polarität Ströme entstehen, die über kurz oder lang das Meiste in lebhaften und vieles in rasenden Umschwung versetzen.

Die Elektrisierung des Stärkewassertropfens vermittelst des Spirituspinsels leidet aber an einem Uebelstande, nämlich daran, daß man jenen mit diesem leicht berührt und sich dadurch oft jählings um die schönste Beobachtung bringt. Daher kehren wir zunächst wieder zu unserer ursprünglichen Methode zurück und lassen auf den Stärkewassertropfen den Alkohol in Form eines wie von ungefähr aufgelegten Tropfens wirken.

Mit Rücksicht auf das soeben Gesagte setzen wir neben einen schon recht kleinen, d. h. höchstens 1 mm großen Stärkewassertropfen einen verhältnismäßig großen, etwa 4 mm langen und 2 mm breiten Tropfen von Spiritus rectificatus möglichst, jedoch nicht so nahe, daß der alsbald ein wenig heranrückende Wasserrand dabei in den Alkohol hineinstürzt; immerhin darf aber die Entfernung beider Tropfen schließlich nicht mehr als $^1/_2$ mm betragen (Fig. 111). Das ist die Anordnung, bei welcher sich der Verlauf des Elektrisierungsprozesses am allerbesten zeigt. Denn die Verdunstung des Alkohols geht auf dem Objektträger langsamer vor sich als auf dem Pinsel, sodaß man hinreichend viel Zeit hat über die Entwicklung und Aufeinanderfolge der Teilerscheinungen klar zu werden.

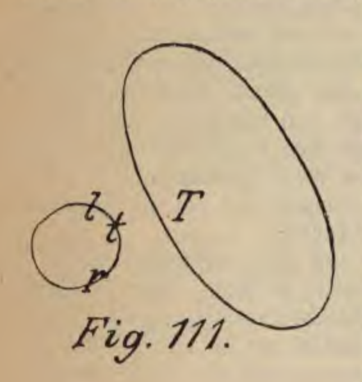


Fig. 111.

Erstens und zwar schon bevor der Spirituspinsel, der den Tropfen neben das Tröpfchen legen soll, das Objektglas erreicht hat, bewegen sich die kleinsten Teilchen oben auf dem Stärkewassertropfen vom Alkohol fort, und in der Tiefe nach ihm hin. Zweitens wird diese Bewegung, nachdem der Spiritus aufgelegt worden ist, erst ein wenig, bald aber beträchtlich schneller, und werden nicht nur alle oben auf dem Tröpfchen gelegenen Pünktchen abgestoßen, und die in seiner Tiefe befindlichen angezogen, sondern auch die etwa von der Tröpfchenmitte her kommenden bis an die äußerste Grenze t herangeholt, um gleich darauf wieder oben auf den Wasserberg hinauf und ebenso weit zurückgeschleudert zu werden. Drittens und zwar schon, nachdem der Spiritustropfen 3—4 Sekunden dalag, geht diese Hin- und Herbewegung in vollkommene Kreisbewegung über, indem die abgestoßenen und schließlich einen Augenblick Halt machenden Körperchen teils in die Tiefe sinken, teils seitlich nach l und r hin ausbiegen, hierauf mit zunehmender Geschwindigkeit nach t hin eilen, um daselbst von neuem und ebensoweit zurückgeworfen zu werden. Viertens beschleunigt sich die Geschwindigkeit dieser Ströme zusehends und nun werden auch schon größere Teilchen, nämlich die kleinsten, 10—20 m

großen Stärkekörnchen in die Wirbel mit hineingerissen. Schließlich nehmen fünftens die 10—20mal größeren, d. h. die allergrößten Körner ebenfalls an der heftigen Kreisbewegung teil, und gerade die von ihnen gebildeten Wirbel steigern mit ihrer schwindelnden Hast den Eindruck, den das ganze Bild auf den Beschauer macht, in einer Weise, die vor seinem staunenden Blicke eine Arbeitsleistung, eine elektrische Fernwirkung aufdeckt, von welcher wohl kaum jemand eine Ahnung hatte. Das ist Sturm nicht in einem Glase, sondern in dem kleinsten Tropfen Wasser: Denn, wenn die Kreisbewegung den höchsten Grad von Geschwindigkeit erreicht hat, kann man von all den vielen Körperchen im Wasser nur noch die mit der ungeheuersten Schnelligkeit sich um einander drehenden größten sehen, und zwar oft kaum noch ihre Kugelgestalt erkennen, vielmehr wegen der Fortdauer des Gesichtseindruckes bloß einen oder ein paar schwankende, normal zu T gerichtete dicke Striche, wie wenn man Kugeln, die sich sehr schnell in einer und derselben Ebene bewegen, parallel zu ihr betrachtet. Dazu gehört natürlich tiefes Wasser, also ein recht stark gewölbter Tropfen, dessen Rand bei t nicht so bald dicklich wird und vermöge seiner Klebrigkeit das eine oder andere Korn, das ihm zu nahe kommt, festhält. Daß die Ebenen, in welchen diese Körperchen kreisen, wenn die Einwirkung des Alkohols auf das Wasser am hochgradigsten ist, mit den nächsten Meridianen des Kugelabschnittes, welchen der letztere bildet, zusammenfallen, erscheint deshalb wichtig, weil sich daraus auf die Art und Weise der Fernwirkung schließen läßt, und weil das Gesetzmäßige in der Stellung dieser Kreisströme zum Spiritustropfen gänzlich verloren geht, sowie er nicht mehr schnell, sondern nur noch langsam verdunstet. Denn haben sich die Umwälzungen im Stärkewasser aufs Aeußerste gesteigert, so bemerkt man auch, daß sein Gegenüber schon viel flacher geworden ist; nimmt aber diese Abflachung nur noch wenig zu, weil der meiste Alkohol bereits verflog, so hört die so bestimmte Ordnung in den Wirbelbewegungen sehr bald und oft wie mit einem Schlage auf.

Endlich weist die Thatsache, daß die geordnete Anziehung und Abstoßung im Stärkewassertröpfchen erst dann am heftigsten ist, wenn neben ihm bereits viel Alkohol verdunstete und seine Verdunstung noch lebhaft bleibt, deutlich darauf hin, daß das Primäre bei diesem Effekte die Elektrizität des Alkohols, und jene des Wassers das Sekundäre ist. Allein diese sekundäre Elektrizität kann, wie schon Seite 113 erwähnt ward, durchaus nicht einfache Influenzelektrizität sein; denn wäre sie es, so müßte auch Chloroform und Schwefelkohlenstoff, die bei bez. nach ihrer Verdunstung ja gleichfalls elektrisch werden (S. 107), im Wassertropfen dieselben Ströme wie z. B. der Alkohol hervorbringen. Aber diese zwar höchst flüchtigen, jedoch mit Wasser sich nicht verbindenden Flüssigkeiten, deren Vermischung mit Wasser also auch keine Temperaturänderung zur Folge hat, sind nicht imstande das kleinste Fremdkörperchen im Stärkewassertropfen in Bewegung zu setzen. Folglich bestätigt sich aufs Neue, daß der Alkohol und andere flüchtige Flüssigkeiten, die im Wasser löslich sind, den Wassertropfen nur darum so sehr zu elektrisieren vermögen, weil der letztere durch ihre Dämpfe viel stärker erwärmt wird wie durch die bloße elektrische Bestrahlung.

b. Die sofort nach der Einwirkung des Alkohols auf den Stärkewassertropfen auftretende ungeordnete Anziehung und Abstoßung.

Vor allen Dingen fragt es sich, ob die oben (S. 212) skizzierten, in der Regel so ungemein stürmischen Bewegungen der Fremdkörper nach der Einwirkung des Alkohols unter gewissen Umständen nur schwach und kurze Zeit oder vielleicht auch gar nicht auftreten; denn könnte man das erreichen, so wäre Aussicht vorhanden, den Beginn dieser verwickelten Vorgänge zu studieren und ihre Ursachen, was jetzt nicht mehr schwer ist, zu ergründen.

Zu diesem Zwecke greifen wir wieder zum Spirituspinsel; denn es versteht sich von selbst, daß die Nachwirkung, wie wir den zu untersuchenden Erscheinungskomplex nennen wollen, um so schwächer ausfällt, je kürzere Zeit die Einwirkung währte; die Dauer der letzteren läßt sich aber nur mit dem Pinsel in der Hand bequem abmessen und bis auf $^2/_5$ oder sogar nur $^1/_5$ Sekunde verkürzen. Damit allein werden wir allerdings noch nicht zum Ziele kommen; es muß vielmehr noch die Größe des Stärkewassertropfens und die Menge des verdampfenden Alkohols berücksichtigt werden. Denn da sich (S. 141) zeigte, daß die geordnete Anziehung und Abstoßung nur dann so schwach wie möglich auftritt, wenn der Tropfen recht groß, der Pinsel aber nicht nur klein ist, sondern auch blos wenig Spiritus enthält, so werden wir hier, weil der Uebersichtlichkeit halber von einer sehr verdünnten Emulsion nur ein kleines Tröpfchen aufgelegt werden darf, dieses jedoch (S. 215) außerordentlich leicht elektrisch wird, doppelt vorsichtig sein müssen, also den kleinsten Pinsel zu nehmen, gut auszustreichen oder, wenn er einmal feucht ist, aber keine Wirkung mehr hervorbringt, nur mit der äußersten Spitze und blos kurze Zeit einzutauchen, bei stärkerer Füllung hingegen nur sehr behutsam zu nähern haben, damit die Erwärmung und Elektrisierung des Stärketropfens trotz der für sie so günstigen Umstände, ja so schwach wie möglich ausfalle.

Ein ungefähr 1 mm großer Stärkewassertropfen soll außer vielen bei 15facher Vergrößerung gerade noch erkennbaren, also 1 mm — 2 mm großen Stäubchen nur wenige kleinste bis mittelgroße, und blos zwei oder drei größte Stärkekörner enthalten. Wird jenem nun der Pinsel Nr. 1, der in Spiritus rectificatus getaucht, aber gut ausgestrichen ward, bei abgelenktem Atem seitlich nach Möglichkeit genähert, und von ihm bei der ersten schwachen, schon nach $^1/_5$—$^2/_5$ Sekunden erfolgenden Wahrnehmung von Abstoßung der oberflächlich gelegenen und von Anziehung der in der Tiefe schwebenden Stäubchen entfernt, so bleibt, nachdem diese sofort auf ihre Plätze zurückgekehrt sind, alles ruhig und ist eine weitere Nachwirkung nicht zu beobachten, obgleich die Einwirkung schon nicht mehr so schwach wie möglich war, weil die obenauf schwimmenden kleinsten Teilchen nicht erst angezogen, sondern (S. 141) sogleich abgestoßen wurden. Läßt man den Spirituspinsel aber gleich beim ersten Male eine ganze Sekunde, oder, nachdem man ihn von neuem eingetaucht und fast gar nicht ausgestrichen hat, nur $^2/_5$—$^3/_5$ Sekunden

lang einwirken, so werden die Stäubchen weiter und schneller abgestoßen und angezogen, und nun erscheinen die ersten Anfänge der eigentlichen Nachwirkung: Die Stäubchen geraten unmittelbar nach Entfernung des Pinsels auf $^1/_2$—$^3/_4$ Sekunden in Zuckungen; doch ist es bei der Kleinheit der Objekte kaum möglich sich sichere Rechenschaft über diese Bewegungen zu geben. Und wollte man, um dieselben genauer zu verfolgen, mit stärkerer Vergrößerung arbeiten, so würde ja auch die scheinbare Geschwindigkeit vergrößert und die Beobachtung eher erschwert als erleichtert. Wird nun 2. die Einwirkung des Spiritus wiederum gesteigert, z. B. ihre Dauer auf 2 Sekunden erhöht, so sieht man nach Fortnahme des Pinsels wesentlich mehr, nämlich daß auch kleine, 5—10 mm große Stärkekörner an den Zuckungen der Stäubchen und zwar schon auf ein paar Sekunden, teilnehmen. Und bleibt 3. der Spirituspinsel noch etwas länger, vielleicht 3—4 Sekunden, in größter Nähe des Tropfenrandes, so machen gegen das Ende der Einwirkung schon recht viele kleine und große Stärkekörner die Abstoßung und Anziehung der Stäubchen mit und werden die verhältnismäßig riesigen Kugeln nach Entfernung des Pinsels bereits heftig hin- und hergeworfen oder es wirbeln zwei, drei oder mehr von ihnen, nachdem sie sich anscheinend bis zur Berührung genähert haben, um einen gemeinsamen Mittelpunkt, der immer das größte von den so bewegten Körnern ist, um früher oder später aus einander zu fahren und nach einigen kurzen und immer kürzer werdenden zickzackförmigen Rucken auf einmal ruhig zu sein. Dieser dritte Grad der Nachwirkung bietet zwar des Guten insofern schon zu viel, als das Auge kaum im stande ist, bei einem oder ein paar bestimmten Körnern unverwandt zu bleiben; aber man hat doch schon die ganze oben (S. 212) geschilderte Revolution im Kleinen vor sich und weiß jetzt, wie sie entstanden ist und was ihr vorher gehen muß.

Wieder davon ausgehend, daß eine noch unaufgeklärte physikalische Erscheinung am leichtesten dann zu verstehen sein muß, wenn man den Versuch, wodurch sie hervorgebracht wird, so sehr wie möglich vereinfacht, nahm ich einen 1—$1^1/_2$ mm großen Wassertropfen, der außer minutiösen bis etwa 0,5 mm großen Stäubchen nur ein einziges, etwa blutkörperchengroßes Stärkekorn, das sich ziemlich nahe am Rande des ersteren befand. Liegt nun das Stärkekorn obenauf, so wird es, falls verhältnismäßig viel Spiritus im Pinsel ist, wie die oberflächlichen Stäubchen, jedoch später, langsamer und weniger weit, fortgestoßen; schwebt es aber in der Tiefe, so wird es von jenem über kurz oder lang angezogen. Das Stärkekorn ist also entweder mit dem oberen oder mit dem unteren Strome des Tropfens gleichnamig elektrisch; folglich müssen alle einem und demselben Strome angehörigen Fremdkörper, sowie die Kraft, welche sie in dieser oder jener Richtung bewegt, zu wirken aufhört, einander abstoßen; und diese hierher oder dorthin gerichteten, bald kleinen, nur ruckweisen, bald großen, sprungartigen Abstoßungen lassen sich eben an dem einzigen großen Stärkekorne, das vor den im Tropfen hier oder da in großer Menge vorhandenen, unter der Lupe freilich kaum noch oder gar nicht mehr sichtbaren, gleichnamig elektrischen Stäubchen zurückschnellt, fast sämtlich verfolgen, weil man bei seiner Fixierung

nicht unwillkürlich durch die Zuckungen und Sätze eines andern großen Fremdkörpers gestört wird.

Da nun das Stärkekorn, nachdem der frisch eingetauchte Pinsel mehrere Sekunden eingewirkt hat, nach Entfernung des letzteren häufig sehr weit, z. B. vom Rande bis zur Mitte des Tropfens fortgeschleudert wird, so ist es im höchsten Grade wahrscheinlich, daß dasselbe bei dieser oder jener Abstoßung in den Wirkungsbereich des andern, des entgegengesetzt elektrischen Stromes gerät. Folglich werden in diesem Falle Stärkekorn und Stäubchen einander heftig anziehen, dies so lange thun, bis alles gleichnamig geworden ist und dann aus einander fliegen. Das kann man auch wirklich wahrnehmen; indessen der Kleinheit der Stäubchen wegen nur schwer.

Daher suchen wir jetzt einen Wassertropfen zu bekommen, in welchem gleichfalls nur ein großes Stärkekorn vorhanden ist, nicht weit davon aber noch ein paar kleine, leicht erkennbare sich befinden, von denen eines während der Einwirkung vom Pinsel angezogen, das andere aber abgestoßen wird, so daß diese beiden Kügelchen schon bevor die Nachwirkung beginnt, entgegengesetzt elektrisch sind. Schwammen nun während der Einwirkung z. B. das große und ein mittelgroßes Korn oben, zwei kleine aber unten, so stoßen nach Fortnahme des Pinsels sowohl die ersten als auch die letzten beiden einander ab; folglich ist die Möglichkeit, daß eines der ersten beiden Körner und eines der letzten beiden einander so nahe kommen, daß sie sich anziehen, theoretisch schon sehr groß. Und in der That macht man die Beobachtung, daß plötzliche Anziehung zwischen zwei oder mehreren Stärkekörnern ausnahmslos dann eintritt, wenn ein paar von ihnen während der Einwirkung in der geschilderten Weise sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen. Die paar- bis gruppenweise Anziehung scheint nun darum richtig erklärt, weil sie, sowie der Tropfen so flach geworden ist, daß er vom Spirituspinsel fortgestoßen wird, (S. 207), nach dessen Entfernung nur sehr schwach auftritt und alsbald ganz ausbleibt: Denn bei sehr geringer Tiefe des Wassertropfens wird die Etablierung eines Kreisstromes deshalb schwierig bez. unmöglich, weil der erstere unter diesen Umständen durch den Spiritusdampf oben und unten nahezu gleichmäßig wärmer werden muß. Wenn nun auf dem Wassertropfen W (Fig. 112) unweit des Randstückes p q, das der Spirituspinsel bereits abstößt, ein kleines Stärkekörnchen a liegt, so wird es anfangs zugleich mit dem Wasser fortbewegt, ist also mit diesem gleichnamig elektrisch; nachdem aber der Spiritus länger und möglichst

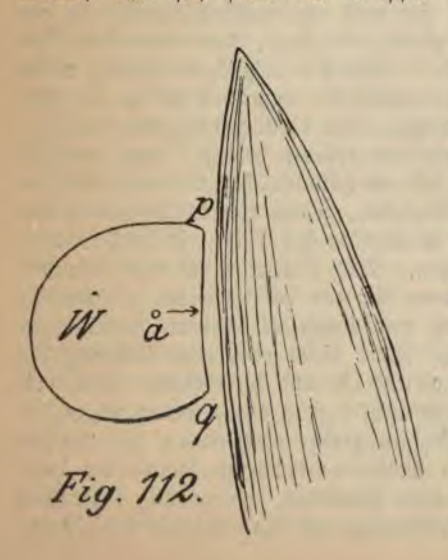


Fig. 112.

intensiv eingewirkt hat, so eilt es mit zunehmender Geschwindigkeit bis an die äußerste Grenze des abgestoßenen Randes, während dieser selber sich dabei durchaus nicht rührt, weder hin noch her geht. Jetzt ist das Körnchen also entgegengesetzt elektrisch, das Wasser aber unelektrisch geworden. Dieser doppelte Zeichenwechsel erklärt sich ungezwungen aus dem Umwandlungsgesetze: Die Positivität zum Beispiel, welche das schwer erwärmbare Wasser bei seiner Abstoßung besaß (S. 107 und 131), ließ sich durch lange fortgesetzte Erwärmung nur bis auf Null bringen; jene des leichter erwärmbaren Stärkekornes aber kam dadurch über die Nullelektrizität hinaus, erstieg die nächsthöhere Stufe und wurde Negativität.

Die Wirbel endlich verdanken ihre Entstehung zuvörderst dem Umstande, daß die Stärkekörner sehr verschieden groß sind und eine derartige Gestalt und Oberfläche haben, daß sie sich in ihrem Elemente, wie die Weltkörper im freien Raume, äußerst leicht bewegen können; denn sparrige Gegenstände, wie Stückchen von Haaren und Fasern, die auf oder in einem Wassertropfen liegen, lassen sich mittelst des Spirituspinsels nur schwer von der Stelle bringen. Enthält nun der etwa $1^1/_2$ mm große Tropfen nur ein Stärkekorn, rührt sich dasselbe während der Einwirkung, weil es zu groß und schwer ist, noch nicht, und bekommt es nach Entfernung des Spirituspinsels von einigen der feinen Stäubchen, die man während der Einwirkung bei etwas schiefer Beleuchtung von einem Kreisstrome (Fig. 109) ergriffen sah, und jetzt heftig durch einander fahren, einen Stoß, worauf es mit einer Zuckung antwortet, so wird es in der Regel, weil der letztere nur ausnahmsweise zentral sein kann, wie ein seitlich gestoßener Billardball zugleich eine Achsendrehung machen. Davon kann man sich an den größeren und größten Stärkekörnern auch sehr gut überzeugen, da sie ja meist eiförmig sind; denn diese länglichen Körper drehen sich schon bei den kleinsten ruckweisen Ortsveränderungen, deren Verlauf, weil sie nicht allzu schnell geschehen, man noch genau verfolgen kann, stets ein wenig um sich selbst, nämlich einen Augenblick um ihre lange, und im nächsten um ihre kurze Achse. Hat der Tropfen aber außerdem noch viele kleine Stärkekörnchen und wirkte der Spirituspinsel lange genug ein, so wird das eine oder andere ziemlich große oder auch das größte nach Fortnahme des Elektrizitätserregers leicht von mehreren Körpern, die ungleich größer als die Stäubchen sind, sehr viel heftiger als von diesen gestoßen werden, also ins Rollen kommen. Da man dabei jedoch regelmäßig sieht, daß die kleinen Körner, welche nach dem Zusammenprallen mit dem großen von diesem abspringen, sogleich wieder auf dasselbe zurückstürzen, wieder fortfliegen und zurückkehren, bis einzelne und allmählich mehrere an ihm trotz seiner heftigen Rotation hängen bleiben, so werden sie von jenem offenbar angezogen, weil sie unterwegs immer wieder von neuem influenziert wurden. Manche von den kleinen Körnern zieht das große, primär rotierende gleich nach ihrer ersten Abstoßung längere Zeit an und nimmt sie bei seinem Umschwunge um sich selber beharrlich mit, andere bekommen von anderen Stöße und werden dadurch wieder fortgeschleudert; bald aber wird das Ab- und Auseinanderspringen seltener und endlich bleiben alle Körnchen, die Wirbel bildeten, beisammen, sodaß sie dicht neben, unter und übereinander liegen und

das Ganze wie eine Brombeere aussieht. Sind im Tropfen aber unübersehbar viele Stärkekörner und wurde ihm, um ihn recht stark zu elektrisieren, ein ungewöhnlich großer Spirituspinsel (Nr. 3) mehrere Sekunden und nach Möglichkeit genähert, so erhält man nach Entfernung des letzteren jene an mehr als einem Orte zugleich und anderswo immer wieder von neuem auftretenden körnchenreichen Wirbel, die in der Einleitung zu diesem schwierigen Kapitel (S. 212) in Kürze geschildert wurden. Sie ließen sich, wenn man rasch genug sehen könnte, alle auf das Schema zurückführen, das wir soeben entwickelten, und sind leider das Einzige, was man von all den wunderbaren Bewegungen der Stärkekörner in dem von einer verdampfenden und im Wasser löslichen Flüssigkeit elektrisierten Wassertropfen jemandem zeigen kann, weil sie oft länger als eine Minute anhalten.

Schließlich ist es sehr wichtig, daß das Bild der Nachwirkung, die unregelmäßige Anziehung und Abstoßung, auch ohne äußeres Hinzuthun, also anscheinend von selber, nämlich sofort und mit unfehlbarer Sicherheit auftritt, sowie ein Tropfen einer flüchtigen und leichter als Wasser beweglichen Flüssigkeit, die natürlich, damit man die Bewegungen darin leicht sehen kann, kleine bez. sehr kleine feste Teilchen enthalten muß, auf den Objektträger aufgelegt wird. Die nächstliegende ist wieder der Alkohol, und damit er keinen Mangel an passenden Fremdkörperchen habe, wird ihm hinlänglich viel Gummigutt beigemischt. Alle solche Flüssigkeiten elektrisieren sich je flüchtiger sie sind umso stärker durch ihre Verdunstungskälte selber, und zwar so sehr, daß die augenblicklich entstehenden, blitzschnell durcheinander laufenden Kreisströme schon ziemlich große, d. h. bei 15facher Vergrößerung noch sehr gut sichtbare Fremdkörper umher zu werfen vermögen. Wird aber ein solcher Spiritustropfen, natürlich ohne Deckglas, unter das Kompositum gebracht, so sieht man unendlich viel mehr und erschrickt förmlich über die in dem kleinen Raume so überaus heftig, an tausend und abertausend Orten zugleich wirkenden Kräfte. Wie groß ihre Summe ist, haben wir schon Seite 107 gesehen; denn hier zeigte sich ja, daß bei der Abkühlung und Wiedererwärmung sehr flüchtiger Flüssigkeiten sogar der Mikrokondensator Elektrizität nachweist. Folglich schwindet durch jene Untersuchungen mit dem Pendel der letzte Zweifel darüber, ob es wirklich Elektrizität sei, welche in solchen Flüssigkeiten durch Temperaturänderungen Anziehung, Abstoßung und Kreisströme erregt. Diese großen Arbeitsleistungen dauern allerdings nicht lange; allein auch in dem schon sehr flach gewordenen und am Rande bereits eingetrockneten Spiritustropfen geht es im Grunde noch lange so fort. Die Kreisströme sind bloß viel kleiner und so schwach geworden, daß nur die winzigsten Teilchen sowohl ein wenig hin und her, als auch und zwar verhältnismäßig langsam um eine ihrer Achsen bewegt werden, mit einem Worte, daß nur noch Brown'sche Molekularbewegungen übrig bleiben — dieselben, die sich unter günstigen Umständen in jedem Wassertropfen zeigen werden.

Die Entdeckung der elektrischen Wirbel aber wird sich als ebenso wichtig herausstellen wie der mit dem Pendel ausgeführte Nachweis der Elektrizitätserregung durch einfache Temperaturänderungen, und vielleicht können jene Wirbel uns auch in Bezug auf die mikroelektrische Wellentheorie einen brauchbaren, weil sich auf neue Thatsachen stützenden Gedanken liefern.

Kapitel XXIII.

Die Lösung.

Leicht und schwer lösliche Flüssigkeiten. Auflösung von Kolophonium in Spiritus. Die Lösungswärme.

Unabweislich knüpft sich an das, was wir bei der Elektrisierung des Stärkewassertropfens durch Alkohol gesehen haben, die Vermutung, daß der den Mittelpunkt der physikalischen Chemie bildende Vorgang, **die Lösung**, eine elektrische Wirkung sei. Da sich nun zeigen wird, daß denjenigen chemischen Prozessen, die sich unter dem Mikroskope leicht verfolgen lassen, allezeit Elektrizitätserregung vorausgeht, so wird die Lösung, falls sie wirklich auf Elektrizität beruht, zu den chemischen Vorgängen zu rechnen sein. Indessen kommt hier auf diese Unterscheidung wenig an, da Physik und Chemie vielfach, ja, genau genommen, immer in einander übergehen.

Wenn ein neben einen 2—3 mm großen Stärkewassertropfen gesetzter, kaum oder nur wenig größerer Spiritustropfen sich immer mehr, nämlich etwa bis auf $^1/_{10}$ mm (d. i. so weit wie ein Teilstrich eines in halbe Millimeter geteilten Zeiß'schen gläsernen Maßstabes breit ist) genähert hat und ganzrandig bleibt, so sind beide Flüssigkeiten gleichnamig elektrisch geworden, was man, falls der Stärkewassertropfen flach ausfiel, auch daran erkennt, daß sein dem Alkohol aufs Aeußerste genäherter Rand vor diesem etwas zurückweicht. Auf einmal aber, wenn man schon denkt, es geschehe nichts weiter, stürzt der Stärkewassertropfen in den Spiritustropfen hinein und entsteht am vordringenden Wasserrande mehr oder weniger geordnete, gleich darauf jedoch und viel länger anhaltend ungeordnete Anziehung und Abstoßung, wie bei der Nachwirkung. War hingegen der Spiritustropfen viel größer als der Stärkewassertropfen und hat jener infolge davon, daß er zu warm wurde, Neigung, sich weitläufig auszubreiten, so treibt er den letzteren plötzlich vor sich her: Das ist Abstoßung höchsten Grades, denn in den Fällen, wo die Annäherung des Alkohols an das Wasser nicht mit einem

großen Teile des Randes, sondern nur mit einem kleinen Ausläufer desselben geschieht, sieht man, daß dieser einen nur ebenso großen Teil des Wasserrandes fortdrückt, daselbst also eine Bucht hervorbringt, wie sie Figur 113, wo Sp den Spiritus- und W den Wassertropfen darstellt, zu veranschaulichen sucht. Ist nun der im Ganzen fortgestoßene Wassertropfen zur Ruhe gekommen, weil der Spiritustropfen nichts mehr herzugeben hatte und seicht geworden war, so erscheint an dem vom Spiritus berührten Stärkewasserrande geordnete Anziehung und Abstoßung und zwar in großer Heftigkeit Früher oder später jedoch fließt der letztere in die immer niedriger gewordene Spirituslache zurück, sie füllt sich damit mehr und mehr, und nun tritt in der so weit gediehenen Mischung beider Flüssigkeiten ebenso heftige ungeordnete Anziehung und Abstoßung auf, die unter günstigen Umständen viele Sekunden, ja oft eine halbe Minute lang währt.

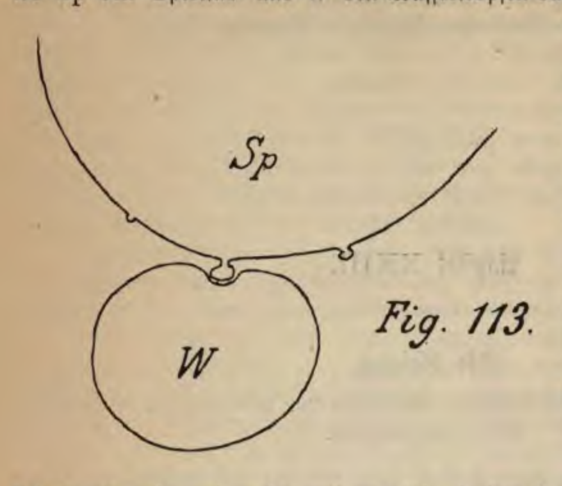


Fig. 113.

Giebt man nun im halben Dunkelfelde genau acht, so läßt sich in beiden Fällen auch etwas von den Bewegungen des Wassers selber wahrnehmen, durch welche die Fremdkörper bewegt werden, also **Wirbel**, wie auf der Oberfläche der einen oder andern Stelle eines Flusses. Um diese besser zu erkennen, lag es nahe, das Stärkewasser zu färben, z. B. mit flüssigem Karmin, dies muß aber so intensiv geschehen, daß der aufgelegte Tropfen noch völlig dunkelrot aussieht, weil sonst die Wirbel, welche der zuströmende Alkohol im Stärkewasser hervorbringt, sich nicht scharf genug abgrenzen. Da aber der Stärkewassertropfen durch den starken Karminzusatz so schwerbeweglich wird, daß die in ihm entstehenden Wirbel kaum die kleinen Stäubchen, geschweige denn die Stärkekörner mit sich nehmen können, so legen wir gleich von der Karminlösung selber einen Tropfen auf den Objektträger und daneben einen solchen von Spiritus, oder umgekehrt zu einem Spiritustropfen einen Tropfen flüssigen Karmins; indessen sieht man dabei auch nicht viel mehr. Etwas besser lassen sich die Wirbel verfolgen, wenn man neben einen Tropfen von flüssigem Karmin, der mit Spiritus vermischt wurde, einfach einen Wassertropfen setzt und wartet, bis beide in einander laufen. Dabei aber sind die sich blitzschnell bildenden Strudel in jeder Hinsicht so veränderlich, und ist das wechselvolle Bild so rasch verschwunden, daß man von der außerordentlichen Kraftentfaltung, von der einem heftigen Kampfe gleichenden Arbeit, deren Resultat die Mischung oder die Lösung im weiteren Sinne des Wortes ist, kaum mehr als einen allgemeinen Eindruck bekommt

Daher ging ich zu Flüssigkeiten über, die im Wasser schwer löslich sind, und erhielt recht Befriedigendes beim Phenol und Kreosot. Es wurde zunächst ein Tropfen Phenol auf den Objektträger, und neben ihn ein kleinerer Wassertropfen gesetzt; sehr nahe dürfen sie sich aber nicht sein, weil die Löslichkeit des Phenols in Wasser (1:15) immer noch so groß ist, daß eine nicht ganz unbeträchtliche Fernwirkung entsteht und das Wasser in die Karbolsäure rascher läuft als zur Beobachtung dessen, was gleich zu Anfange geschieht, wünschenswert ist. — Am besten sind diese Anfangserscheinungen jedoch beim Kreosot zu beobachten. Kreosot und Wasser können sich zwar aus der Ferne nicht mehr nachweisbar elektrisieren, sehr gut aber, wenn beide einander berühren, wobei der Ausgleich ihrer verschiedenen Temperaturen augenblicklich hinreichend schnell vor sich geht. Indessen sieht man in beiden Fällen, sowohl wenn das Phenol als auch das Kreosot vom Wasser berührt wird, dasselbe: Das Wasser reißt von dem ölartigen Solvendum minutiöse Tröpfchen ab und wirbelt sie an der Berührungsgrenze wie die Stärkekörnchen in dem Wassertropfen herum, in welchen der Spiritustropfen hineinstürzt (S. 224). Freilich sind die losgerissenen und eben dadurch in Lösung übergehenden Tröpfchen bei halbem Lichte unter der Lupe sehr klein; leicht erkennt man sie aber unter dem Kompositum, wenn man nur kein Deckglas auflegt.

Etwas wirklich Großartiges bietet nun die Auflösung fester Körper. Hierzu ist zweierlei erforderlich:

1. daß das Lösungsmittel, das Solvens, eine Mischung von Wasser mit einer ausgesprochen, jedoch nur mäßig flüchtigen Flüssigkeit bildet; 2. daß das Solvendum in Wasser allein unlöslich ist, mithin nach Verdampfung des eigentlichen Solvens im Wasser suspendiert wieder zum Vorscheine kommt. Diese Bedingungen erfüllt u. a. **der gewöhnliche Spiritus und das Kolophonium.**

Um bei der Beobachtung des Vorganges der Kolophoniumauflösung unter der Lupe bez. unter dem Mikroskope so wenig wie möglich durch eine Nebenerscheinung, nämlich durch das früher oder später eintretende Austreiben des Alkohols (S. 116 f.) gestört zu werden, ist es zweckmäßig sich des sehr niedrigen Standglases des bereits (S. 121) beschriebenen Ringglases zu bedienen, weil das Aufsteigen der Flüssigkeit an senkrechten Wänden durch die Schwere vermindert wird, und so von dem Lösungsmittel auf dem Grunde des Gefäßes, worin das Kolophonium liegt, hinlänglich viel und lange genug verbleibt.

In das Ringglas, das bereits auf dem Tische des Präpariermikroskopes steht, läßt man zwei Tropfen Spiritus fallen, legt mit der Nadel ein dünnes, etwa 1 □ mm großes Stückchen Kolophonium möglichst in die Mitte der Flüssigkeit und beobachtet unverzüglich bei schiefer Beleuchtung, 15facher Vergrößerung und sorgfältig abgelenktem Atem; denn sofort beginnt die Lösung: Rings um das Harzstückchen entwickeln sich, erst schwach, dann immer stärker werdend, dieselben durch einander laufenden Wirbel, wie beim Einströmen

von Alkohol in die Karminlösung; diesmal aber geschieht alles langsamer und hält Minuten an, sodaß der ganze Vorgang sich mit der größten Ruhe verfolgen läßt. Ferner fällt außer den wirbelnden Bewegungen dessen, was sich gleich in den ersten Augenblicken von dem Harze ablöste, am meisten in die Augen, daß um das letztere, gleichviel ob es rundlich oder eckig war, ein nahezu kreisrunder, immer größer werdender, durchscheinender Ring entsteht, der bei Berührung mit der Nadel sich als eine zähe dickliche Flüssigkeit, umgeben von dem dünneren und durchsichtigeren Alkohol erweist. Wird dieser Ring jedoch in Ruhe gelassen, so gewahrt man, daß gleichzeitig mit seiner Entwicklung die kleinen Stäubchen, die an oder in dem Kolophonium sind, strahlenartig nach außen fortgeschleudert werden und alsbald wieder zurück bis zu ihrem Ausgangspunkte oder nahe bis an denselben schnellen, um abermals fort zu fliegen, und daß diese streng zentrifugalen und zentripetalen, dort mit abnehmender, hier mit zunehmender Geschwindigkeit erfolgenden Bewegungen andauern, so lange der Ring wächst, daß also hier Wirbel im Gange sind, die mit den geordneten der Stärkekörner in dem vom Spiritus elektrisierten Wassertropfen große Aehnlichkeit haben. Diese Wirbel fallen auch sofort auf, wenn man ein Stückchen Kochsalz, Jodkalium oder ein anderes leicht lösliches Salz ins Wasser legt und unter der Lupe betrachtet; von den vielen Luftblasen jedoch, die dabei entstehen, kehren nur die, welche an den anders temperierten Wasserrand gelangten, wieder zur Mitte zurück. — Waren in das flache Glasgefäß nicht mehr als zwei Tropfen Spiritus eingelassen worden, so erreicht der äußere Rand der ringförmigen Auflösung am Ende ihres Wachstums nirgends die Gefäßwand; dann aber ist jene, die Lösung, schon so seicht geworden, daß ihre Peripherie scharf hervortritt und sich jetzt als ein Kranz von sehr kleinen Harztröpfchen erweist. Jedenfalls mangelt es hier zuerst am Lösungsmittel, und nun wird allmählich der ganze Ring, in dessen Mitte noch immer etwas unaufgelöstes, wenn auch bereits erweichtes Harz liegt, erst eine Spur, dann immer mehr weißlich und auf einmal erkennt man, daß das Ganze aus unzähligen, äußerst kleinen, globulitenartigen Körperchen, nämlich, wie vorher schon der Rand des Ringes, aus Harztröpfchen besteht. Die Hauptsache ist aber: Sie sind keinen Augenblick ruhig, sondern bewegen sich in rasender Eile zwischen dem in der Mitte liegenden Harzreste und dem äußeren Rande des Ringes hin und her, alle genau in radikalen, senkrecht stehenden Ebenen — wieder ganz ähnlich wie die Stärkekörner im Wassertropfen während der Einwirkung des Spiritus, nur ist das Bild, zumal unter dem Kompositum, noch viel großartiger und schöner als dort, ja, man weiß nicht, ob man mehr über die unendliche Zahl dieser anfangs kaum 0,1 mm großen Kügelchen, als über die unverrückbare Ordnung staunen soll, womit sie alle im Fluge neben und über einander dahinrollen. Rasch jedoch werden die Tröpfchen größer und größer, und am Rande, wo immer ein größeres ein kleineres anzieht und verschluckt, natürlich am frühesten, bis endlich das Lösungsmittel ganz versiegt ist. Der Eindruck aber, den die sozusagen mathematisch genau gerichteten und unermeßlich vielen Kreisströme hinterlassen,

wird, ich zweifle nicht daran, jedem unvergeßlich bleiben. Was man im Beginne der Lösung aus den Bewegungen der verhältnismäßig nur wenigen, zufällig vorhandenen Fremdkörperchen vermuten konnte, sehen wir also aufs Vollkommenste bestätigt, wenn das Solvens, das sich, dank der bei seiner Berührung des Harzes sofort entstehenden Elektrizität, zwischen dessen allerkleinste Teilchen kreisend drängte, mehr und mehr abnimmt und eben dadurch uns erlaubt, wenigstens die zu Ende gehende Kraftentfaltung im kleinsten Tropfen einer Lösung zu belauschen.

Bringt man dagegen einen Spiritustropfen nicht in ein Gefäß, worin er sogleich oder alsbald eine konkave Oberfläche darum bildet, weil dasselbe sich bei den Manipulationen mehr erwärmt als die Flüssigkeit, und das Glas sich dabei um mehr abkühlt als diese sich erwärmt, sondern setzt ihn frei hin auf einen Objektträger, der wärmer als jene ist, und treibt er infolgedessen in der bekannten Weise aus, so bietet sich, nachdem ein Stückchen Kolophonium hineingelegt worden ist, wieder etwas Unerwartetes dar: In jedem der aus dem Rande hervorgebrochenen Tröpfchen werden von dem Augenblicke an, wo es durch seinen Stiel zu wenig Alkohol zugeführt bekommt, sodaß es zwar zu wachsen aufhört und nicht weiter fortrückt, aber doch noch seine halbkugelige Form behält, **äußerst heftige und radial zum Muttertropfen gerichtete Kreisströme der minutiösen jetzt herausfallenden Harztröpfchen sichtbar, so heftige Strudel, als ob es ringsum in den Enden der Ausläufer kochte.** Im Innern dieser Spiritushalbkugeln herrscht also noch immer eine wahrhaft ungeheure Thätigkeit, und wieder steht dieselbe in inniger Beziehung zur Temperatur; denn wenn Tisch und Glas erwärmt wurden, sind die Wirbelbewegungen noch viel schneller als wenn jene kaum Zimmertemperatur haben. Daß die Wirbel, die sich in einem Tropfen zeigen, nur aus Anziehung und Abstoßung, die ein Punkt oder eine Linie auf seine Umgebung ausübt, hervorgehen, haben wir bei der Gegenüberstellung von Alkohol und Stärkewasser sattsam gesehen; daher wird die gleiche Wirkung auch von derselben Ursache, der einzigen Kraft, die sich durch unmittelbare Aufeinanderfolge von Anziehung und Abstoßung äußert, von Elektrizität herrühren, die ja immer durch verschiedengradige Erwärmung und Abkühlung — ich sage nicht zweier heterogener, sondern zweier verschiedengradig erwärmbarer Körper entsteht, weil der Voltaeffekt auch mit Platten aus einem und demselben Metalle erzeugt werden kann, wenn nur die eine wesentlich dicker, also schwerer erwärmbar ist als die andere (s. d. Schlußkapitel).

Der Unterschied zwischen der Auflösung des Harzes in einem Gefäße, dessen Wandungen von Alkohol benetzt werden, und jener in einem nur auf den Objektträger gesetzten Spiritustropfen hängt vielmehr davon ab, oder richtiger, fällt damit zusammen, daß das Lösungsmittel dort eine konkave und hier, wenigstens zu Anfange, eine konvexe Oberfläche hatte. Dort, im Gefäße, blieb die Hauptmasse der Lösung in der Mitte beisammen; hier aber, wo der Spiritustropfen nach allen Richtungen hin auseinander gezogen wurde, läuft auch die entstehende Lösung bis zur Erschöpfung des Lösungsmittels strahlenförmig nach außen. An den zufälligen kleinen Fremd-

pulvertem Jodkalium oder einem andern der genannten Salze ein paar Stückchen, die ungefähr nur ebenso groß sind wie ein großes Hauchtröpfchen, und Luftbläschen enthalten, auf den betauten Objektträger fallen und entfernt sich sofort, um sie nicht zu erwärmen: Bereits nach ein paar Sekunden ist schon von Weitem ein eben solcher schwarzer leerer Hof um jedes Bröckchen wie um das ebenso behandelte Papierschnitzel (S. 191), zu erkennen, und bei näherer Betrachtung zu sehen, daß jedenfalls das kleinste von ihnen sich in dem angezogenen Wasser und Wasserdampf vollkommen aufgelöst hat, also auf dem noch betauten Glase ein mit dem schönsten Wärmehofe umgebener Tropfen von Lösung liegt.

Bei der reinen, d. h. nicht durch Nebenumstände beeinflußten Auflösung dieser so sehr hygroskopischen Körper wird also durchaus keine Kälte, sondern im Gegenteil **Wärme** entwickelt, und Zeugnis davon legen auch die Luftblasen selber ab, die von den unter Wasser gesetzten Krystallen bez. Krystallstückchen ausgehen; denn jene werden dabei zusehends größer. Beschickt man einen Wassertropfen zum Beispiel mit dem infolge absichtlicher Störung nur in Globuliten oder globulitenartig klein krystallisiertem Glaubersalze, während das Auge schon auf der 15fachen Vergrößerung ruht, so läßt sich im ersten Augenblicke kaum etwas um das kleine Häufchen bemerken; in dem nächsten jedoch erkennt man, daß aus ihm meist strahlenartig viele kleinste schwarze Punkte herauskommen, und nach wenigen Sekunden treten dieselben nicht nur in unzähliger Menge, sondern auch in solcher Größe auf, daß sie sich ohne weiteres als Luftblasen erweisen. Folglich muß die Flüssigkeit, die Lösung, bereits im Laufe der ersten Sekunde wärmer geworden sein, und nimmt die Lösungswärme, so lange feste Substanz vorhanden ist, zu; denn die meisten der später erscheinenden Luftblasen sind noch mehrere Sekunden lang ebenso groß, ja größer wie die am Ende der ersten Sekunde frei gewordenen. Hat aber das Ganze sich dank der Lösungselektrizität mehr und mehr erwärmt, so wird die Luft, während sie noch im Salze eingeschlossen ist, wärmer als die Flüssigkeit sein, da Luft sich ja viel leichter als Wasser erwärmt. Kommen die Luftblasen nun aus ihrer Klause heraus ins Wasser, so kühlen sie sich plötzlich ab, und das umsomehr, als sie, in der Tiefe frei werdend, erst überall hin, wie die Fremdkörperchen des Harzes im Alkoholtropfen, fortgestoßen werden, alsdann etwas aufsteigen, wieder zurückkehren und ganz oben, einzeln oder zu mehreren vereinigt, platzen. Demnach haben wir hier den bekannten Fall von Kälteerzeugung vor uns, wo ein komprimiertes, warm gewordenes Gas durch Abkühlung sich noch mehr verdichtet und, in Freiheit gesetzt, umso kälter wird je höher es vorher erwärmt wurde. Mit dieser Temperatursteigerung beginnen alle Kältemischungen, und auf einen ungewöhnlich hohen Grad wird sie gebracht, wenn starke Säuren, die mit Wasser ja so viel Wärme entwickeln, zur Anwendung kommen. Zu den für die alsbald erfolgende Abkühlung so ausgesucht günstigen Bedingungen tritt aber immer noch die, daß die Verdunstung der Wasserhaut um die auf der Oberfläche der Flüssigkeit angelangten, im Kleinen zu Hunderten, im Großen aber zu Millionen auf-

tretenden Luftblasen, ihr Zerspringen und die plötzliche Ausdehnung dieser Luft in gleichem Sinne wirkt. Also entsteht hier, wie bei den Eismaschinen, durch Wärme alsbald Kälte.

Bestätigt wird unsere Erklärung der Wärmeabsorption bei der Lösung gewisser Salze durch das Verhalten des käuflichen Glaubersalzes, das eine Mal in großen krystallinischen Massen und das andere Mal in fein gepulvertem Zustande. Im letzteren nämlich, wo zwischen den Partikelchen sich kaum mikroskopisch kleine Zwischenräume befinden, wird bei Zusatz von Wasser nicht die geringste Erniedrigung, sondern sofort Erhöhung der Temperatur bis um viele Grade beobachtet; verfährt man ganz aber ebenso mit den unverändert gelassenen Krystallen dieses Salzes, die fast alle außer vielen kleinen auch zahlreiche große luftgefüllte Hohlräume haben, so fällt die Temperatur sofort und zwar, wenn man bei 13° einen Theelöffel voll Wasser und ungefähr ebensoviel Glaubersalz nahm, allmählich um reichlich $3^1/_2$°. Da nun das Natrium sulfuricum siccum sich bei seiner Auflösung ebenso erwärmt wie das gepulverte Natrium sulfuricum crystallisatum, so dürfte auch der bekannte Gegensatz in dem Verhalten der Temperatur bei der Lösung des Calcium chloratum crystallisatum und des siccum — das erstere wird bei unserer Anordnung und 13° Wärme mindestens 10° kälter, das letztere aber an 15° wärmer! — in derselben Weise zu erklären sein wie jener bei der Lösung des krystallisierten und des gepulverten oder von seinem Krystallwasser befreiten äußerst feinkörnigen Glaubersalzes, und werden wohl noch sehr oft da, wo die Lösung mit Temperatursenkung einhergeht, ähnliche Umstände vorliegen.

Es hat aber auch seinen bestimmten Grund wenn die sich unter Temperaturerniedrigung lösenden Stoffe, obgleich jedes ihrer Teilchen innerlich vielleicht luftfrei ist, ins Wasser gebracht, so viel Luftblasen entwickeln; denn diese Eigenschaft besitzen nur die im Wasser leicht löslichen, mehr oder weniger stark **hygroskopischen Körper,** wogegen die im Wasser unlöslichen oder fast unlöslichen, wie Zinkoxyd, Stearinsäure, Magnesia und dergl. an der Luft ja niemals feucht werden — wieder ein Hinweis darauf, daß bei der Lösung selber eine anziehende Kraft, die sofort zur Abstoßung, gleich darauf wieder zur Anziehung u. s. w. führt, die Triebfeder für den so überaus wichtigen Vorgang ist. Daß von den hygroskopischen Körpern fein verteiltes Wasser, z. B. der Dampf der auf einem Objektglase liegenden Tautropfen, ringsum angezogen wird und in bis zu einer gewissen Grenze immer größer werdendem Umkreise um ein Krümchen von ihnen verschwindet, während dieses dafür naß wird und in Lösung geht, haben wir wiederholt gesehen; daß bei dieser Anziehung aber **zugleich auch sehr viel Luft,** d. h. mehr als das Wasser an sich enthält, mit heran und herein gerissen wird, erfahren wir erst aus dem soeben beendeten Versuche, wo zum Beispiel die Tausende von Glaubersalzglobuliten bei ihrer Uebergießung mit Wasser die an ihnen haftende und eben dabei verdichtete Luft nicht mehr festzuhalten vermochten, da die Luftblasen ja sogleich nach allen Richtungen hin fortgestoßen und wieder angezogen werden, bevor sie sehr vergrößert auf der Wasseroberfläche bersten. Rührten

die aus dem ins Wasser gebrachten Globulitenhaufen heraus eilenden Bläschen nur von der zwischen den einzelnen Kügelchen oder Krystallchen befindlichen Luft her, so würde doch auch jedes nicht hygroskopische und ebenso feine Pulver dieselbe Erscheinung zeigen; das ist jedoch durchaus nicht der Fall. Ich wiederhole: Die nur einigermaßen hygroskopischen Körper ziehen mit dem Wasser zugleich sehr viel Luft an und verdichten sie auf ihrer Oberfläche. Da namentlich in der belebten Welt außerordentlich viel Wasser angezogen, aber auch so sehr viel Luft gebraucht wird, so wäre es, zumal bei dem Vorgange, weil er sich als ein elektrischer erweist, auch Ozon entstehen muß, und die Körper, welche den Sauerstoff begierig anziehen, wahrscheinlich auch Wasser, das ihn enthält, zugleich mit an sich reißen und dabei Ozonwasser bilden, keine undankbare Aufgabe dieses Thema weiter zu verfolgen.

Unserer Auffassung von der Kälteerzeugung bei Auflösung so vieler mehr oder weniger hygroskopischer Stoffe wird man nun die bekannte Thatsache entgegenhalten, daß einige der an der Luft leicht feucht werdenden Körper sich im Wasser ja unter beträchtlicher Wärmeentwicklung lösen, obgleich dabei ebenfalls große Mengen von Luftblasen aufsteigen. Der Widerspruch ist aber nur ein scheinbarer; denn es giebt unter diesen Stoffen solche, bei deren Auflösung eine große, d. h. viele Grade erreichende Temperatursteigerung nur dann stattfindet, wenn das aufzulösende Salz mehr oder weniger feucht ist. Das sind die beiden unter den Hygroskopizis mit obenan stehenden Körper, das Calium carbonicum und das Chlormagnesium.

Wird von gut getrocknetem, wenn es zusammengeklebt war grob gestoßenem und vor einem Wiederfeuchtwerden sorgfältig geschütztem Kaliumkarbonat eine Messerspitze voll — auf genau abgewogene Mengen kommt es hier nicht an — in ein Standgläschen geschüttet, das außer einem Thermometer $1^1/_2$—2 ccm möglichst ebenso wie das Salz temperierten Wassers enthält, so fällt das Quecksilber augenblicklich, und in einigen Sekunden sogar um zwei ganze Grade, nämlich unter der Bedingung, daß das Wetter trocken ist und, wie schon aus den Maßangaben hervorgeht, beträchtlich mehr Salz, als sich lösen kann, zugesetzt wird. Sie steigt hierauf aber alsbald und spätestens nach einigen Minuten, obgleich sich noch fortwährend Gas entwickelt, wieder ziemlich schnell. Folglich bekommt jetzt Wärme, offenbar die Lösungswärme die Oberhand; doch wird dadurch die Temperatur kaum höher als bis auf die des Kontrollthermometers gebracht. Wenn ihr Abfall dagegen, nämlich bei feuchtem Wetter, wo das Kaliumkarbonat also wieder „angezogen" hat, blos einen halben Grad oder noch weniger betrug, so erhöht sie sich nach Ausgleich der Differenz noch um mindestens einen halben Grad. Daher sinkt das Quecksilber gar nicht, sondern steigt langsam, aber nur um höchstens einen Grad, wenn das sich lösende Kaliumkarbonat mehr, jedoch noch lange nicht so viel Wasser angesogen hatte, daß die Stückchen zusammenkleben; und sogar nur ein paar Zehntelgrade beträgt die Temperatursteigerung beim Chlormagnesium, das unter gewöhnlichen Umständen sich im Wasser ja unter

Entwicklung von ziemlich viel Wärme löst, falls es vollkommen trocken war. Endlich kommt auch der Fall vor, daß bei der Lösung des Kaliumkarbonats, wenigstens in der ersten Minute weder Erniedrigung noch Erhöhung der Temperatur entsteht, wo also Abkühlung und Erwärmung anfangs gleich groß sind, sich aufheben und ganz allmählich nur eine sehr geringe, d. h. kaum 0,2° betragende Temperatursteigerung erscheint.

Bei der Auflösung des Kaliumkarbonats sind wir also in der glücklichen Lage beides, erst die von der plötzlichen Ausdehnung verdichteter Luft herrührende Abkühlung, und darauf den Ueberschluß der Wärme über die Expansionskälte beobachten zu können, welcher aus dem Fortschreiten der Lösung resultiert — genauer die Wärme, die durch die bei der Berührung von Solvens und Solvendum überall entstehende Elektrizität erzeugt wird.

Aber auch wenn das Kaliumkarbonat mit Wasser, das sich in der fast denkbar feinsten Verteilung befindet, nämlich mit dem Wasserdampfe der Atmosphäre in Berührung kommt, läßt sich Temperatursteigerung thermometrisch nachweisen und daraus schließen, 1. daß da, wo bei der Lösung zuerst oder überhaupt blos Temperatursturz beobachtet wird, dieser eine andere Ursache als die später oder allein in die Erscheinung tretende Erwärmung haben muß; und 2., daß die vielgradige Erwärmung, die unter gewöhnlichen Umständen bei der Auflösung des Kaliumkarbonats und Chlormagnesiums, wo diese Körper also nicht tagelang sorgfältigst getrocknet worden waren, auftritt, nur davon herrührt, daß sie **vor** ihrer Uebergießung bereits elektrisch waren und sich eben dadurch, aber nur bis zu dem Zeitpunkte mehr und mehr erwärmen, wo durch die teilweise Verdunstung des angesogenen Wassers Wärmegleichgewicht zu stande kommt. Denn stellt man auf das Fensterbrett (weil hier die Feuchtigkeit am größten ist) zwei gleichgehende Thermometer, das eine in ein flaches Schälchen mit trockenem Calium carbonicum, Kochsalz, Zucker und dergl., und das andere in ein solches, das leer ist, so steigt die Temperatur der hygroskopischen Körper fast sofort, erhöht sich in wenigen Minuten um einen halben Grad und wenn die Luft recht warm und feucht ist und jene bereits näßlich aussehen, so erhebt sich die Temperatur dieser Stoffe fast um einen ganzen Grad und geht, wenn die Luft trocken wird, entsprechend zurück. Ja das Chlorzink erwärmt sich unter diesen Umständen sogar um zwei Grade! Wie man unter dem Mikroskope sieht, verflüssigen sich nämlich z. B. bei einem Stückchen Kaliumkarbonat, das feuchter Luft ausgesetzt wird, zunächst nur diejenigen Globuliten und kleinsten Krystalle, welche aus dem Salzblocke hervorragen oder auf ihm liegen wie die Mehltrümmer auf einer Graupe; und weil in keinem von diesen winzigen Teilchen selber Luft eingeschlossen ist, vielmehr die einander benachbarten ohne viel Luft mitanziehen zu können oder zu fangen, zusammenkleben, so ist die Kälteerzeugung durch Gasexpansion den Graden nach viel geringer als die Lösungswärme, und das umso mehr, als ja im Innern der Salzstücke zunächst das Wasser mangelt und die zwischen den Krystallchen daselbst befindliche Luft nicht hinauskann. Das sind die Gründe warum bei diesem Versuche die Temperatur des Salzes

ohne vorhergehende Erniedrigung steigt, und immer muß man sich daran erinnern, daß diese Erwärmung die Wirkung der Elektrizität ist, die entsteht, wenn die Wasserteilchen der atmosphärischen Luft auf das Salz fallen, das als ein ganz anderer Körper auch eine andere Eigenwärme besitzt. Bei der Uebergießung ist der Temperaturwechsel natürlich viel größer, die dadurch erzeugte Elektrizität viel intensiver und auch die von ihr hervorgebrachte Wärme, falls vom Solvens nicht zu viel genommen wurde, gleichfalls bedeutender, so daß von der Oberfläche des festen Körpers rasch immer mehr kleinste Teilchen, in deren Zwischenräume das Wasser gezogen wurde, abgelöst und so lange abgestoßen werden, als durch die sich steigernde Wärme selber fortgesetzt von neuem Elektrizität entsteht.

Zogen nun das der feuchten Atmosphäre ausgesetzte Kaliumkarbonat, Chlormagnesium und Chlorkalcium so viel Wasser aus der Luft an, daß sie klebrig werden, so haben sie zugleich ungeheuer viel von der letzteren selber mit an sich gerissen, wie man unter der Lupe, wenn sie mit Wasser zusammengebracht werden, oder gar schon mit blosen Augen sieht, wenn einzelne Bröckel von ihnen auf dunklem Grunde, z. B. auf einer Eisenplatte, so lange, etwa von Abend bis Morgen, am Fenster liegen, bis sie zerfließen; und setzt man von diesen dickflüssigen Massen mehr als sich lösen kann, unter Wasser, so bedeckt es sich mit Schaum und fällt die Temperatur sofort — beim Calium carbonicum mindestens um 2°, beim Chlormagnesium um etwa 3° und beim Chlorkalcium fast 4° — wieder weil die angezogene und verdichtete Luft jetzt ebenso, wie wenn das trockene Salz ins Wasser kommt, frei wird, die Luftblasen sich ausdehnen, aufsteigen und Kälte verbreitend zerspringen. Daß aber das Calcium chloratum (siccum), das die Nacht über offen am geschlossenen Fenster stand und am andern Morgen, wo es noch nicht eigentlich naß, sondern nur oberflächlich zusammengebacken war, unter einer Temperaturerniedrigung von 4° sich auflöste und hierauf noch einen halben Grad wärmer als das Kontrollthermometer wurde, läßt, wie unter Umständen das Kaliumkarbonat, wieder den schließlichen Sieg der Lösungswärme über die Expansionskälte erkennen. Und wenn endlich die Uebergießung von ganz trockenem Chlorkalcium (bei 17° und 40 % relativer Feuchtigkeit) nur 5—6° Wärmeerhöhung, von solchem aber, das etwa zehn Minuten lang (bei 13° und 55 % r. F.) ausgebreitet auf dem Fensterbrette stand, eine Temperatursteigerung von 14° hervorbringt, so rührt das abermals davon her, daß das aus der Luft Feuchtigkeit anziehende Salz sich augenblicklich erwärmte und schon bei 10° und kaum 60 % r. F. um fast $1^1/_2$° wärmer ward, also schon verhältnismäßig stark elektrisch war, bevor es ins Wasser kam, während das trockene dadurch erst elektrisch wurde.

Der thermometrische Nachweis, daß die Temperatur, während die hygroskopischen Stoffe aus der Luft Wasser ansaugen, steigt, wird jedoch die Grundlage bilden für die Erklärung einer höchst wichtigen, indeß noch völlig unbekannten Erscheinung, nämlich daß in einem Tropfen von einer Lösung dieser Körper in Wasser die großartigsten elektrischen Ströme erregt werden können.

Kapitel XXV.

Der Kampfer. Er ist an sich elektrisch. Die Kampferbewegungen.

In Alkohol sehr viel leichter löslich als das Kolophonium, das uns so Vieles lehrte, ist ein ihm nicht sehr fern stehender Körper, der dem Elektriker noch mehr als jenes sagen kann, nämlich der Kampfer

Wenn unsere Erklärung der Lösung richtig ist, so müssen zunächst unmittelbar, nachdem Kampfer und Spiritus einander berührten, größere und noch auffallendere Wirbel als beim Geigenharze erscheinen. Dem ist auch so und kann man sogar sehen, daß viele der im Spiritus befindlichen Fremdkörper oft 5 mm weit fortgeschleudert und dennoch von dem sich lösenden Kampfer wieder angezogen werden, ja daß bis 1 mm lange Fasern, Härchen u. dergl. den Wirbeltanz mitmachen und beim Umbiegen des Stromes sowohl in seiner größten Nähe am Kampfer als auch in seiner größten Entfernung von dem letzteren sich in nahezu senkrechter Ebene wie ein Windmühlflügelpaar umwenden, immer mit demselben Ende voran. Aber selbst die Bewegungen so großer Körper lassen sich ihrer Geschwindigkeit wegen nicht verfolgen, wenn man den gewöhnlichen Spiritus, den gemeinen Brennspiritus, nicht verdünnt; mindestens die Hälfte Wasser muß zugesetzt werden, sonst geht alles viel zu schnell.

Allein weniger darum, weil er im Alkohol besonders leicht löslich ist, komme ich auf den Kampfer, sondern hauptsächlich wegen seiner, allem Anscheine nach von Elektrizität herrührenden Bewegungen auf Wasser, die zwar von alters her bekannt sind, aber bis heute in diesem Sinne noch nicht erklärt werden konnten; indessen an der Hand der Thatsachen und Methoden, die wir bisher kennen gelernt und angewandt haben, macht es keine Schwierigkeiten mehr über die so merkwürdige Erscheinung, um deren Erklärung u. a. sich einst auch Volta bemühte, Aufschluß zu erhalten. Schon weil so viele große Gelehrte sich seit langer Zeit damit beschäftigten, interessiert das Phänomen noch jetzt; am meisten jedoch darum, weil in der Physik kaum zum zweitenmale so stürmische und andauernde Bewegungen durch die einfache Berührung eines Körpers mit Wasser entstehen. Da man nun bei allen Versuchen sich über die Molekularkräfte zu unterrichten, immer und immer wieder auf die Vermutung kommt, daß sie nichts anderes als Elektrizität seien, so sind gerade die kleinsten, anscheinend von selber auftretenden bez. durch geeignete Manipulationen sichtbar werdenden Bewegungen darauf hin zu prüfen, ob sie nicht im Verborgenen Zeichen von Elektrizität d. h. von Anziehung und Abstoßung besitzen und eben dadurch Uebergänge zu jenen nur indirekt wahrnehmbaren Kraftäußerungen bilden, die gegenwärtig die Aufmerksamkeit, den Scharfsinn, ja das ganze Können so vieler Forscher in Anspruch nehmen, denen der allgemein-naturwissenschaftliche Fortschritt am Herzen liegt: Uebergänge zu den so unendlich wichtigen Erscheinungen der Chemie. Die feinsten mikroskopischen Versuche thun uns not, damit die mathematische, so hoch entwickelte Behandlung

der Physik auf ebenbürtigen Voraussetzungen ruhe und die beigebrachten Beispiele überzeugend darthun, daß der Chemismus nicht die Ursache der Elektrizität, sondern deren Wirkung ist. Uebrigens sind gerade die Anziehungen und Abstoßungen, die bei den Kampferbewegungen sichtbar gemacht werden können, so großartig und halten so lange an, daß man sie an einem und demselben Präparate nach und nach mindestens einem Dutzend Zuschauern zu zeigen imstande ist.

Aber die Sache gewinnt noch viel mehr an Bedeutung dadurch, daß man die gesetzmäßigen Anziehungen und Abstoßungen eines auf Wasser liegenden mikroskopisch kleinen Stückchens Kampfer, Bernsteinsäure, Citronensäure, Menthol u. dergl. vorbildlich für die Kraftäußerungen der allerkleinsten Körperteilchen, der Moleküle und Atome auffassen kann, weil die betreffenden Bewegungen sich gleich bleiben, das Stück mag 1 mm oder nur 0,001 mm groß sein, daß wir also der theoretischen Vorstellung von dem gegenseitigen Verhalten der allerkleinsten Massenteilchen nunmehr Bewegungen, die mikroskopisch sichtbar sind, zu Grunde legen können, Erscheinungen, die nicht bloß für die Vorstufe der chemischen Vorgänge, für die Lösung, sondern auch, wie sich zeigen wird, für andere Molekular-, ja sogar für diejenigen chemischen Erscheinungen typisch sind, die im elektrisierten Wassertropfen vor sich gehen.

Vor allen Dingen muß man wissen: **Der Kampfer ist unter gewöhnlichen Umständen allezeit von selber elektrisch.** Ein positiv geladenes empfindliches Goldschaumpendel, das auf dem Tische steht, wird von einem etwa haselnußgroßen Stücke Kampfer 2—3 mm weit abgestoßen, wenn man es mit einer langen kalten Pincette berührt, und ein negativ geladenes Pendel geht vor demselben Stücke ebenso weit fort, wenn man es mit der warmen Hand anfaßt.

Allein auch Bröckel, die nur $^1/_{10}$ bis $^1/_{30}$ mm größten Durchmesser besitzen und an der Nadelspitze hängen bleiben, sind noch überraschend stark elektrisch, natürlich nicht mehr einer verhältnismäßig so großen Last gegenüber, wie selbst das zarteste Goldschaumpendel ist, sondern neben einem Wassertropfen, der durch Abschleudern oder durch Absaugen mit der Pipette recht flach, also möglichst leicht gemacht ward; denn dessen Rand wird von dem an der genäherten Nadel hängenden, wenn auch unter ihr gar nicht mehr sichtbaren Bißchen Kampfer wie von dem Spirituspinsel sogleich fortgestoßen; und nimmt man einen niedrig gesaugten Stärkewassertropfen, so tritt bei den Stärkekörnern im Wesentlichen dasselbe Spiel von Anziehung und Abstoßung, das oben (S. 206 ff.) genau beschrieben wurde, nur in etwas geringerem Grade auf. Ja sogar, wenn man die Kampfernadel über so verflachtes Wasser hält, drängt sie dasselbe sogleich nach allen Richtungen auseinander, während die Stärkekörner erst rasch herankommen, dann fortrutschen, wieder kommen u. s. w Ein auf diese Weise zurecht gemachter Wasser- bez. Stärkewassertropfen ist das allereinfachste und das allerbeste Elektroskop, das bei den feinsten, den mikroskopischen Untersuchungen des Kampfers auf Elektrizität zur Anwendung kommen kann; nur darf man diese Leistung nicht von einem Tropfen verlangen, der so flach, wie man ihn haben will, durch Verdunstung

geworden ist; denn wenn auch das beste destillierte Wasser genommen und nichts hineingethan wird, so fielen unterdessen in den Teich doch atmosphärische Salze, die schließlich wieder auskrystallisieren wollen und vorher namentlich sein Ufer dicklich, also schwerbeweglich machen. Kein Zweifel, und von Abkühlungselektrizität könnte überhaupt keine Rede sein, wenn es anders wäre. Der Kampfer ist elektrisch, elektrisch durch seine Eigenschaft, schon bei gewöhnlicher Temperatur sehr stark zu verdampfen, also sich selber und seine Nachbarschaft bedeutend abzukühlen. Da aber der feste Kampfer immerhin in 1000 Teilen Wasser löslich ist, so wird dieses von den Kampferdämpfen nachher wieder etwas wärmer werden; und wenn man auf ein halb mit Kampfer gefülltes Ringglas einen Objektträger legt, an dessen Unterseite ein flacher Wassertropfen hängt, so bekommt derselbe alsbald beim Behauchen ebenso einen, natürlich nur höchst schwachen Wärmehof wie ein Wassertropfen, worin Kampferstückchen liegen.

In zweiter Linie ist es zur Erklärung der Kampferbewegungen nötig, die Umstände aufzusuchen, unter welchen dieselben **nicht** erscheinen. Diese bestehen einfach darin, daß Kampfer und Wasser annähernd dieselbe Temperatur haben. Machen wir den Versuch unter der Lupe mit einem Wassertropfen, der auf dem Objektträger oder in einem Beckenglase liegt, und mit einem $^1/_4$—$^1/_2$ mm großen Stückchen Kampfer, das mittelst der Nadel auf das Wasser gesetzt oder fallen gelassen wird, versehen ist, so erhält man sofort die zitternden oder gar rotierenden Bewegungen dieses Körpers, wenn die tropfengebende Pipette frisch und tief eingetaucht worden war. Geschah das letztere aber nicht, sondern benutzte man den Wassertropfen, der an dem vor einigen Minuten eingetauchten Röhrchen oder Stäbchen hängen blieb, so erscheinen die bekannten Bewegungen nicht, sondern der Kampfer gleitet nur langsam nach dem Tropfenrande. Dies liegt daran, daß der schon mehrere Minuten lang der Luft ausgesetzt gewesene Wassertropfen nicht mehr kälter werden und der Kampfer auf ihm sich nicht genügend abkühlen konnte. Denn hängt man das Thermometer des kleineren (S. 112), abgebildeten Apparates in das darunter stehende, wie gewöhnlich ungefähr einen Grad kältere Wasser und zieht jenes, wie die Pipette aus dem übrigen unverweilt wieder heraus, so fällt das Quecksilber sofort und im Ganzen, was aber nicht länger als eine Minute dauert, um ein paar Grade, steigt jedoch erst nach ungefähr 5 Minuten wieder, wenn nämlich das Wasser im Gefäße des Thermometers verdunstet ist, und zwar sehr langsam. Aehnlich wie das am Thermometer hängengebliebene Wasser wird also auch der frisch gebildete und auf den Objektträger gelegte Wassertropfen schnell kälter werden, während jener, der schon mehrere Minuten an der auf dem Tische liegenden Pipette hin und infolgedessen schon am Ende seiner größtmöglichen Abkühlung angelangt war, auf dem Objektglase sich langsam wieder erwärmt, weil dieses ja wärmer als das Wasser ist. Im Kälterwerden begriffen, wie soeben ausgegossenes Wasser, muß der Tropfen sein, sodaß die Temperatur des darauf gebrachten Kampfers viel mehr als auf abgestandenem Wasser fällt.

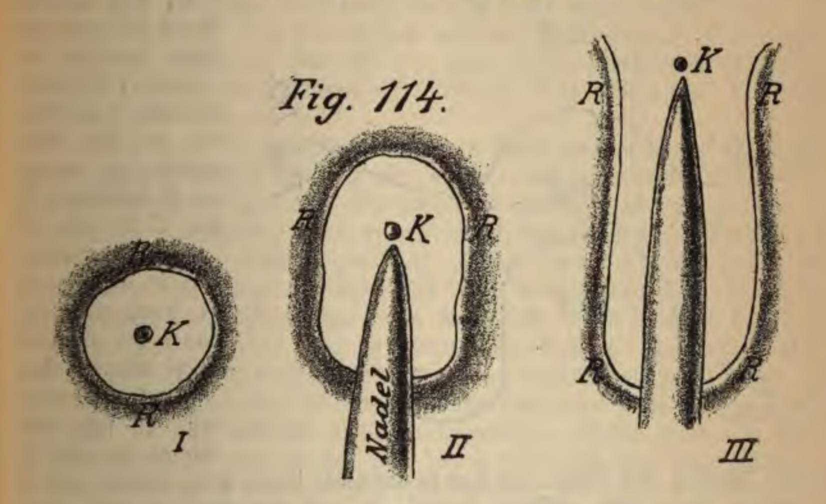
Um auch die kleinsten, nämlich die nur zitternden Kampferbewegungen

nicht zu übersehen, benutzen wir immer die 15fache Vergrößerung des Präpariermikroskopes. Wenn nun Wasser in einem flachen Beckenglase nach Verlauf von ein paar Stunden so weit verdunstete, daß es in der Mitte nur noch ungefähr $^1/_2$ mm tief ist, immerhin aber Kampferstückchen von etwa $^1/_{10}$ mm Durchmesser noch ganz gut trägt, so zeigen sie nicht das allergeringste Zittern, geschweige denn ein Drehen um sich selber; denn unter diesen Umständen hat das Wasser sicher allenthalben dieselbe Temperatur wie die in der Nähe liegenden Kampferbröckel angenommen. Ferner fehlt jede Spur von Kampferbewegungen, wenn alles, Mikroskop und Objektträger bez. Beckenglas, Wasser und Pipette, Nadel und Kampferkrümel in der Ofenröhre erwärmt wurde. Sogleich erscheinen sie aber, wenn man mit einer kalten Nadel kalten Kampfer auf das (30—50°) warme Wasser, und ebenso, wenn man warmen Kampfer mittelst einer warmen Nadel auf kaltes Wasser bringt; in diesem Falle muß das letztere jedoch mehrere Grade kälter sein als die Unterlage, worauf jener liegt. Es ist also gleich, ob der Kampfer sich plötzlich erwärmt oder abkühlt, wenn er rotieren oder auch nur zittern soll, gerade so wie es einerlei ist, ob man einen Krystall, um ihn elektrisch zu machen, warm oder kalt werden läßt. Schon dieses Parallelismus wegen ist es höchstwahrscheinlich, daß die in Rede stehenden Bewegungen elektrische sind. Endlich bleiben sie auch auf gleichmäßig kalt gehaltenem Eiswasser aus, und ist es am zweckmäßigsten, wenn sich das letztere, damit immer hinlänglich viel Eis zugesetzt werden kann, im größten Beckenglase befindet; doch bleibt es sich gleich, ob die Temperatur dieses Wassers noch fünf Grade oder weniger beträgt.

In allen den Fällen nun, wo der Kampfer die fraglichen Bewegungen auf dem Wasser *nicht* macht, lassen sie sich sofort hervorrufen wenn dieses oder zugleich auch jener mit einem Male stark abgekühlt wird. Dies geschieht dadurch, daß man *von der Oberfläche* des Wassers mittelst einer nicht sehr feinen Pipette mit einem kräftigen Zuge etwas *absaugt*. Dabei muß es zischen und gurgeln; denn in dem Röhrchen soll zugleich mit dem Wasser sich Luft fangen, weil die in irgend einen luftverdünnten Raum eindringende Luft *kalt* wird — beim Einatmen fühlt man in der Nase bez. in der Nase und im Munde plötzlich Kälte, wodurch die eingeatmete Luft ja auch ozonisiert, weil elektrisiert wird (Kap. 28). Daher ist das Ende der Pipette nahezu wagerecht auf die Oberfläche des Wassers zu legen, und zieht man jetzt herzhaft an, ohne das angezogene wieder zurücklaufen zu lassen, so zittert und zuckt der Kampfer, wenn er darauf liegen blieb oder wenn neuer aufgelegt wird, augenblicklich; die Bewegungen bleiben aber aus, wenn die Pipette vor dem Ansaugen senkrecht und bis auf den Grund des den Kampfer tragenden Wassers eingetaucht wurde: Denn dabei konnte keine Luft mit angezogen, also auch der Kampfer und seine Unterlage *nicht mit einem Male kälter werden*.

Selbstverständlich elektrisiert diese Erkältung beides, das Wasser und den Kampfer zugleich, viel stärker als sie es im Grunde schon sind; denn die auch zwischen dem nicht zitternden Kampfer und dem Wasser bestehende Anziehung, die Adhäsion faßten wir ja schon früher als Elektrizitätswirkung

auf. Die Verstärkung bestätigt sich aber in überraschender Weise dadurch, daß das Wasser noch während oder doch am Ende des Saugaktes von dem Kampfer zu einem großen Teile abgestoßen wird. Zieht man nämlich etwas zu stark an, so läßt sich regelmäßig die merkwürdige Beobachtung machen, daß das Wasser rings um den Kampfer (K in Figur 114 I) mit



Ausnahme einer an ihm hängengebliebenen Hülle verschwunden ist, und daß das in der Entfernung von mindestens ein paar Kampferbreiten wieder auftretende ein Loch mit scharfen, konvexen Wänden bildet, in dessen Mitte jener auf dem Trockenen liegt. Schon das ist sehr sonderbar; denn nimmt man statt des Kampfers, Menthols u. dergl. oder außer diesem noch kleine Stückchen von einem anderen leichten Körper, z. B. von Kolophonium, legt sie auf das Wasser, auf welchem jener sich nicht bewegen will, und saugt von ihm unter Schlürfen nicht zu wenig ab, so läßt sich an den Geigenharzstückchen durchaus nichts Ungewöhnliches bemerken — sie bleiben völlig ruhig in dem, wenn auch noch so flach gewordenen Wasser liegen und nirgends ist ein Loch um sie entstanden; wogegen der etwa zugleich mit vorhandene Kampfer inmitten einer trockenen Leere liegt. Das Wichtigste ist aber: Sowie man den Versuch macht, den Kampfer mit der Nadel wieder ins Wasser zu schieben, so weicht dasselbe, wenn es nur hinlänglich seicht ist, heftig vor ihm zurück (Fig. 114 II). Ja, man kann damit das niedrige Wasser nach jeder beliebigen Richtung teilen und so durch den fortbewegten Kampfer eine breite Bahn trocken legen (Fig. 114 III), wie es — vor Moses Arme geschah, als er seine Schaaren durch das Schilfmeer führte. (Ausdrücklich wird dort [II. B Mose 14, 21, 22 u. 29] wiederholt gesagt, daß das Wasser neben ihnen zur Rechten und zur Linken wie Mauern stand — also steil in die Höhe stieg, wie der konvexe Rand RR des Wassers um den Kampfer K und da, wo er gewesen war). Ein solcher Spaziergang

in bez. durch das Wasser kann auch so unternommen werden wie es Fig. 115 zeigt. Hier war der Kampfer K, nachdem etwas Wasser abgeschlürft worden war, außerhalb des Restes liegen geblieben, aber doch so nahe, daß er dessen Rand RR noch oder schon merklich eindrückte; folglich brauchte er nur weiter in die Bucht gerückt zu werden, um sie beliebig z. B. bei R' R'' oder R'' R'', zu vertiefen. Allein nur, wenn er noch naß ist, kann der Kampfer solche Wunder thun — trocken geworden läßt er sich leicht wieder in dasselbe

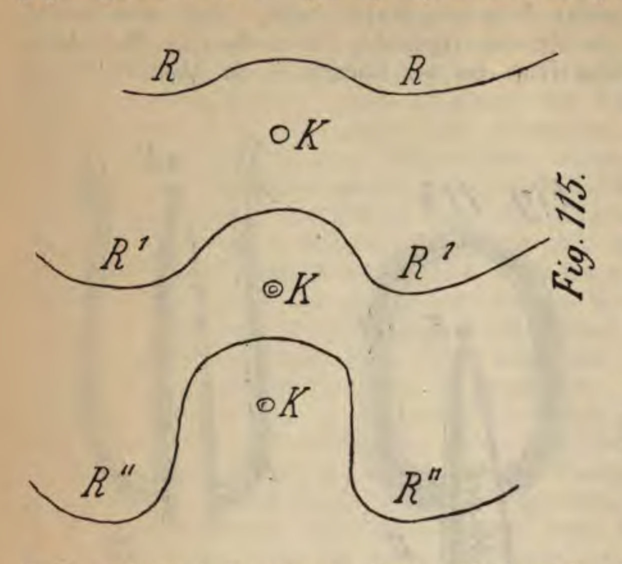


Fig. 115.

Wasser schieben, das vorher vor ihm so unfehlbar seinen Platz räumte; und ist er wieder darin oder richtiger darauf, so zuckt und zittert er ganz gewiß von neuem. Demgemäß stärkt er seine Abstoßungskraft jedesmal und unausbleiblich, wenn er, nur noch wenig feucht, bis dicht an den Rand sehr niedrigen Wassers geschoben wird; denn dann zieht er von demselben blitzschnell etwas an und stößt das an ihm nicht heraufschnellende im nämlichen Augenblicke ebenso ab, wie zuvor, als das Saugen zu Ende war. Hier haben wir also deutlich Anziehung und Abstoßung vor uns, die beiden einander entgegengesetzten Bewegungen, die jeder elektrisch influenzierte Körper, wenn er teilbar ist, dem influenzierenden gegenüber ausführt. Schneide ich z. B. aus dem Blättchen Pb eines Goldschaumpendels den Keil r (Fig. 116) heraus, so spreizt es sich vor dem geriebenen Stabe St aufs äußerste, weil die Hälfte Pf des Blattgoldes, die von der Elektrizitätsquelle weiter entfernt ist als die vordere Pn ebenso heftig abgestoßen wie diese angezogen wird. Sonnenklar ist es: Das von dem

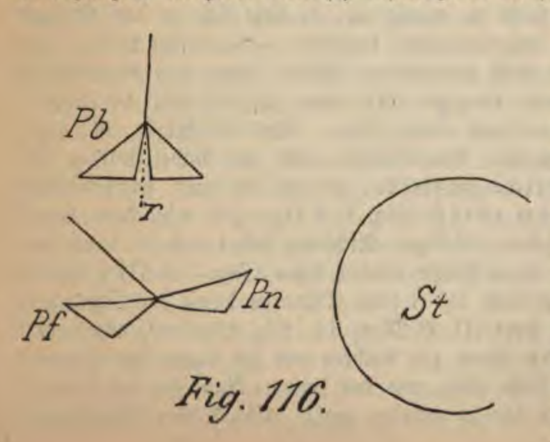


Fig. 116.

Kampferstückchen angezogene Wasser, also das adhärierende, besitzt die Influenzelektrizität erster, und das von ihm mehr oder weniger kreis- oder halbkreisförmig abgestoßene die Influenzelektrizität zweiter Art. Später werden wir dasselbe an Gegenständen, die auf Wasser schwimmen, teils unter der Lupe, teils schon mit bloßen Augen sehen, und wäre hier, wenn es nicht Jeder längst bemerkt hätte, nur noch hervorzuheben, daß der Versuch mit dem im Beckenglase wieder ziemlich trocken gewordenen und an den sehr flachen Wasserrand geschobenen Kampfer zugleich und schlagend als Ursache der Adhäsion die Elektrizität nachweist.

Statt durch oberflächliches Absaugen kann man aber das im Beckenglase befindliche Wasser noch auf eine andere und zwar auf die allereinfachste Art, die sich denken läßt und einwandfrei ist, plötzlich abkühlen und den auf ihm liegenden Kampfer, wenn er aus einem der angeführten Gründe seine so charakteristischen Bewegungen nicht machen kann, auf der Stelle dazu veranlassen. Es genügt in das Wasser einen verhältnismäßig umfangreichen festen Körper, eine Messerspitze, einen Nadelgriff, einen Bleistift und dergl. eine oder zwei Sekunden schief zu halten; denn dadurch, daß dieser Gegenstand augenblicklich von allen Seiten her viel Wasser anzieht, hochhebt und festhält, entsteht um ihn herum Flut, am Ufer aber Ebbe und läuft auch das z. B. an dem Bleistifte in die Höhe gestiegene Wasser in eine so dünne Lage aus, daß es hier wie am Ufer sofort stark verdunstet, kälter wird und sammt dem Kampfer elektrisch oder richtiger bedeutend stärker elektrisch werden muß. Jetzt geschieht, was uns soeben überraschte: Der stark elektrisch gewordene Kampfer stößt das Wasser bis auf das an ihm adhärierende ab, was man zwar nicht für gewöhnlich, aber sehr schön sehen kann, wenn das letztere hinlänglich viel Fremdkörper enthält (S. 244 f.). Da aber alle Kampferstückchen sehr unregelmäßige Vielflächner sind, die eine Menge verschieden großer Spitzen und verschieden tiefer Klüfte haben, so muß die Intensität der Elektrizität auf der Oberfläche dieser Körper sehr verschieden sein; und das kann man an den sich nur wenig bewegenden oder ruhig liegenden sogar sehen, nämlich daran, daß das Wasser unmittelbar um sie herum niemals eine Ebene bildet, sondern viele Vertiefungen und Erhöhungen hat, also von verschiedenen Orten verschieden stark angezogen, hier mehr dort weniger gehoben wird. Daher stößt — alles langsam vor sich gehend gedacht — zunächst die am stärksten elektrische Stelle der Wasserlinie des Kampfers seine weitere Umgebung ab; dabei bekommt er aber in dem leicht beweglichen Elemente den Rückstoß, schwankt also, kehrt aus dem Wasser neue Punkte heraus, die wegen ihrer Form am schnellsten verdunsten, mithin am stärksten elektrisch werden, diese stoßen wieder das Wasser ab, der Kampfer fliegt wieder zurück und so wieder unzählige Male nach einander fort. Ist die Elektrizität des Kampfers nur schwach, weil die erste Temperaturänderung gering war, so ergiebt sich blos Zittern und Zucken; ist sie aber infolge großer Temperaturänderung stark, so sind im Nu jene stürmischen Bewegungen da, wo jedes Kampferstück, groß oder klein, das eine rechts, das andere links herum wie rasend sich dreht, oder eins gelegentlich so furchtbar fortgeschleudert

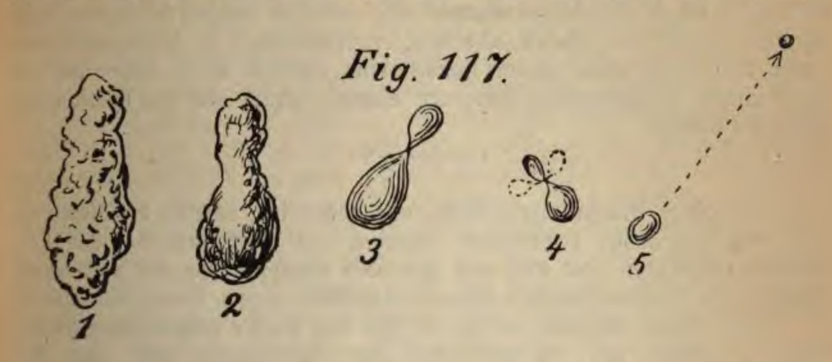
wird, daß es aus dem ganzen Gesichtsfelde hinaus und man weiß kaum wohin geflogen ist. Welch eine Kraft!

Hiernach könnte es selbstverständlich scheinen, daß die Kampferbewegungen dann sehr lange anhalten, wenn sie gleich anfangs mit Heftigkeit einsetzen. Der tiefere Grund ist aber der, daß dabei eine Elektrizitätswirkung im Spiele ist, die wieder zur Elektrizitätsursache wird, daß die Kraft sich fortgesetzt erneuert, indem Ursache und Wirkung wahrscheinlich in äußerster Geschwindigkeit mit einander abwechseln.

Unter dem zusammengesetzten Mikroskope sieht man nämlich sogleich, daß der sich auf dem Wasser bewegende Kampfer auffallend schnell, d. h. viel schneller als wenn er ruhig darauf oder anderswo liegt, kleiner und kleiner wird, daß dies umso rascher geschieht, je lebhafter er sich auf jenem tummelt und beobachtet man an ihm, bis er bei starker d. h. wenigstens 200facher Vergrößerung dem Auge entschwindet, immer noch dieselben oder doch ganz ähnliche Bewegungen. Das schnelle Kleinerwerden des sich bewegenden Kampfers sieht nun, und das ist das Sonderbare, gerade so aus, als löse er sich im Wasser auf; wie bei einem Krystalle, der dies wirklich thut, stumpfen sich zuerst die Ecken und Kanten ab, und dann geht die ursprüngliche Gestalt immer mehr verloren, bis daraus schließlich ein ganz kleines, vielleicht nur 0,0002 mm großes Kügelchen geworden ist, das zitternd vergeht. Ein Kügelchen? Wie kann ein Körper, der z. B. die Gestalt eines Splitters, eines Blattes, eines zerbrochenen Hufeisens hat, bei seiner allseitigen Verkleinerung, wenn sie auch halb in der Luft geschieht, zu einer Kugel werden? Gerade wie das zugeht, ist die Hauptsache; denn es handelt sich dabei um elektrische Verdunstung und um die durch diese wiederum erzeugte bez. verstärkte Elektrizität, gesteigerte Verdunstung, neue, wahrscheinlich wieder stärkere Elektrizität u. s. w.

Werden nämlich die soeben entstandenen Bewegungen des einen oder anderen größeren Kampferstückchens aufmerksam unter der Lupe verfolgt, so ist gewöhnlich schon in den ersten Sekunden zu bemerken, daß plötzlich ein kleines Teilchen von ihm unglaublich weit auf dem Wasser, wie aus der Pistole geschossen, fortgeschleudert wird und, wenn es nicht mehr weiter fliegt, selber wieder zuckt oder rotiert, niemals jedoch zu seinem Ausgangspunkte zurückkehrt: Das Ganze und das Teilchen sind offenbar gleichnamig elektrisch, weil beide immer oben blieben und infolgedesse nahezu dieselbe Temperatur behalten. Diese Abstoßungen erinnern sehr an jene, welche die Fremdkörperchen bei der Auflösung des Kolophoniums, Kochsalzes u. dergl. erlitten, (S. 226), nur daß die letzteren, weil sie untersinken und dadurch andere Temperatur und das entgegengesetzte Zeichen bekommen, wieder angezogen wurden. Etwas Aehnliches nun, wiewohl in kleinerem Maßstabe, wiederholt sich später, wenn die Verkleinerung mehr und mehr zunimmt. Fig. 117. Z. B. ein längliches, wie immer mit unregelmäßigen Flächen begrenztes Stück 1, das Hervorragungen und Vertiefungen hat, bekommt allmählich eine Einschnürung, Biskuit- und später Sanduhrform (2 u. 3), bis die Verbindung zwischen beiden Teilen so dünn wird, daß der kleinere — sie sind ja beide kaum jemals gleich — bei den Be-

wegungen wie ein Klöppel an einem Faden hin und her schlenkert (4). Da reißt er plötzlich ab und beide springen, wenn sie ziemlich gleich groß sind, auseinander; ist ihre Größe aber sehr verschieden, so schnellt eigentlich nur der kleinere fort (5), doch nicht so weit und heftig wie der zuerst beschriebene Teil, der wie ein Geschoß davonflog. Auf diese Weise schnüren



sich, wenn die Figur des Kampfers schon von Hause aus mehrteilig war, nach und nach oft mehr Stückchen ab, stets werden sie fortgeschleudert, ja es wiederholt sich häufig an den bereits einmal abgestoßenen derselbe Vorgang nochmals, und während dessen nähert sich jedes von ihnen immer mehr der Kugelform. Daher unterliegt es keinem Zweifel, daß das erste wie abgeschossen schnell und weit auf dem Wasser hingleitende Kampferstückchen sich in ähnlicher Weise abgelöst hat wie die späteren, und daß man den Ablösungsvorgang nicht sehen konnte oder übersah, weil die Masse, von welcher es abgestoßen ward, anfangs noch zu groß oder noch in zu schneller Bewegung begriffen war.

Aus dieser Reihe von Thatsachen schließe ich, daß von dem Kampfer, wie bei der Lösung, durch elektrische Gewalt unausgesetzt unsichtbar kleine Teilchen fortgestoßen werden, Partikelchen, die unter gewöhnlichen Umständen in die Luft, aber wenn er auf dem Wasser rotiert, zum Theil auf diesem bleiben und so lange sie noch nicht das Maximum ihrer Kleinheit erreicht haben, also noch nicht einzelne Moleküle geworden sind, in derselben Weise weiter zerbersten. Da nun der nasse Teil des Kampfers, weil er infolge seiner stärkeren Verdunstung sich mehr abkühlt als der trockene, bis zu einem gewissen Punkte stärker elektrisch wird als der letztere, so werden von jenem auch mehr kleine Teilchen fortgestoßen werden als von diesem — mit andern Worten: Auf Wasser sich bewegender Kampfer verdampft mehr und löst sich in diesem auch wohl leichter auf als trockener, der Umstände halber auf jenem ruhig liegt. Der auf frisch ausgegossenes Wasser fallende Kampfer wird also durch die plötzliche Temperaturänderung stärker elektrisch als er es schon von Hause aus ist und offenbart dies durch seine eigentümlichen Bewegungen; die so verstärkte

man sieht, lange Zeit nur ein wenig weiter von dem Rande r R und r' R' entfernen; denn der Abstand zwischen jedem von diesen beiden Wegen und dem ihnen gegenüberliegenden Tropfenrande beträgt häufig nur $^1/_{10}$ bis $^2/_{10}$ mm. Das um die Ecke Gehen und dem Tropfenrande so auffallende Nahebleiben der abgestoßenen Stärkekörner kommt nämlich daher, daß die abstoßende Kraft des Kampfers gleich nach dem ersten Augenblicke auf eine ihr entgegenwirkende trifft, und daß dieses Entgegenwirken auch einerseits auf der Strecke zwischen r R und Kb, sowie andererseits zwischen r' R' und Kb' stattfindet. Erst da, wo die Geschwindigkeit der abgestoßenen Körner abnimmt, werden sie (bei b und b') in ziemlich scharfem Bogen, wenn auch nur langsam, nach einwärts halb gedrückt nämlich vom Rande her, und halb, nämlich von der Gegend c und c' her gezogen. Denn hier im Innern des Tropfens, wo die Temperatur sehr verschieden ist von jener des Randes, müssen auf einer gewissen Tiefe die Bedingungen zur Elektrizität mit entgegengesetztem

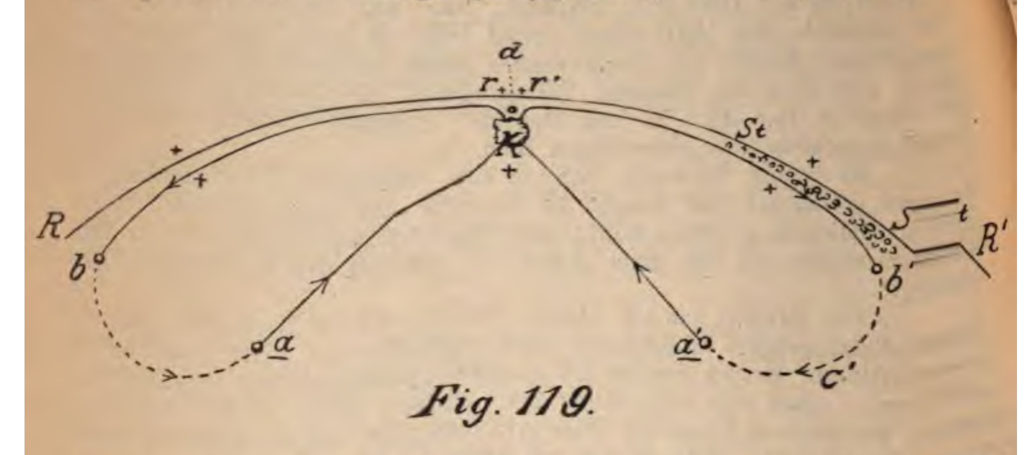


Fig. 119.

Zeichen gegeben sein, sodaß, wenn der Kampfer am Rande als positiv angenommen wird, in den größeren Tiefen Negativität herrscht. Von derselben herein ins Innere gezogen gerät jedes der beiden Körner von dem Punkte an, wo es negativ geworden ist, in den Machtbereich des Kampfers, wird von ihm wieder und zwar alsbald geradlinig und mit zunehmender Geschwindigkeit angezogen, und erscheinen diese geschlossenen Ströme, weil ihre Entstehungsbedingungen lange Zeit sich wenig ändern, ebenso lange als nahezu konstante. Manchmal freilich werden die Körner so weit fortgeschleudert, daß der Kampfer auf sie nicht mehr einwirken, sie also nicht wieder zurückholen kann; in diesen Fällen thut er das mit anderen und verursacht neue Stromschleifen, die jedenfalls zu geschlossenen Ellipsen werden, wenn die Abstoßung nachläßt. Die den Strom bei r und r' so unfehlbar ablenkende Gegenkraft kann nur die zu K gleichnamige Elektrizität, der äußerste Rand des Tropfens muß also selber stark und zu dessen Innern bez. zu dem, was innen oben auf liegt, entgegengesetzt elektrisch sein.

Das läßt sich auch noch anders beweisen. 1) Wenn, was sehr häufig vorkommt, dicht am Rande irgend eines soeben flach gemachten Stärkewassertropfens eine mehrfache Reihe von Körnern liegt (Fig. 119 St St), so fliegen sie vor einem von der Tropfenhöhe rotierend herabkommenden Stückchen Kampfer, das sich neben bez. auf sie legen will, heftig nach rechts oder links oder nach beiden Seiten fort, werden wie vom Sturme fortgefegt, ohne daß sich der eigentliche Wasserrand selber eine Spur änderte. Oder 2), wenn man dicht an den ebenso zierlich besetzten Rand eines andern, jedoch gleichfalls niedrig gesogenen Stärkewassertropfens, gleichviel ob an dem ersteren irgendwo Kampfer liegt oder nicht, von außen her ein feuchtes, doch nicht mehr tropfendes Stückchen Kampfer heranschiebt, so gehen die obersten von ihnen nach innen zu fort, und nur die schwer beweglichen, weil nicht mehr schwimmenden der äußersten oder unteren Reihe bleiben liegen. Und fiel der Tropfenrand besonders flach aus, so bemerkt man hier oder dort, daß auch dieser vor dem so nahe wie möglich herangerückten Kampfer zurückweicht, mit ihm also gleichnamig elektrisch ist. Die Kurve r b und r′ b′ ist demnach die Resultante zweier Kräfte: Aus der von K nach r bez. r′ gerichteten, und jener auf der ganzen Linie r R bez. r′ R′ nach der Tropfenmitte hin wirkenden; die zentrifugale Bewegung, deren Anfang wir zwischen r und K, bez. r′ und K′ ganz deutlich sehen, wird von der zentripetalen in eine nahezu tangentiale verwandelt. Das ist der Rede wert, weil dies Ergebnis unter Umständen auf ähnliche Vorgänge unter Verhältnissen schließen läßt, die so klein sind, daß durch die heftigen Bewegungen auch die kleinsten Vereinigungen von Materie, die Moleküle, aus einander gerissen werden und ihre Atome früher oder später wieder ihresgleichen oder andere von andern Molekülen herrührende möglicherweise auf großen Umwegen anziehen. Wie vom Kampfer auf dem Wasser oder vom Kolophonium im Alkohol werden folgerichtig auch von den Molekülen elektrisch gewordener Körper kleine Teilchen abgestoßen werden und die Trennung des Alten ist ja die Vorbedingung für die Entstehung alles Neuen. Daß die chemischen Prozesse so oder ähnlich geschehen, haben wir uns freilich schon lange gedacht; aber daß sie elektrische sind, dürfte durch unsere mikrophysikalischen Versuche sehr viel wahrscheinlicher gemacht worden sein, als das bisher möglich war.

Interessant, weil es die Elektrizität im Großen ebenso macht, ist auch noch 1), daß die auf den Kampfer zueilenden Stärkekörner oft schon wie ein von einer sehr starken Elektrizitätsquelle angezogenes Pendel, von weitem abgestoßen werden; 2), daß ein genau in die Mitte des Raumes 0 (Fig. 119) gekommenes Stärkekorn elliptisch in senkrechter Ebene hin und her geworfen wird; denn K, das jedenfalls stärker positiv ist als d bez. das Randstück r r′, stößt den Fremdkörper so nahe an d heran, bis die Positivität des letzteren größer ist, als die des auf diesem Wege schwächer positiv gewordenen Körnchens, und erst wenn das letztere zufällig der rechten oder linken Seite von K zu nahe kommt, hören diese kurzen, radial gerichteten rasenden Wirbel auf, stellen sich schief und ist der Fremdkörper, ehe man sichs versieht, tangential abgegangen, weil er von r oder r′ her wie ein Billardball mehr und mehr seitlich getroffen wird; 3), daß man den in einem Beckenglase auf Wasser

ruhig liegenden Kampfer durch Eintauchen eines immer wieder von neuem und stärker erhitzten Metallstückes mehrere Male hintereinander in Zuckungen versetzen und ihn wieder unbeweglich, also ebenso oft elektrisch und unelektrisch machen kann, wenn nur zwischen den einzelnen Erwärmungen Pausen liegen, in welchen das Wasser samt dem Kampfer sich etwas abkühlen kann. Dies entspricht also der fortwährenden, durch Null gehenden Umelektrisierung einer Voltaschen Platte, wovon wir das Umwandlungsgesetz ableiteten.

Kapitel XXVI.

Endosmose. Kapillarattraktion. Fäden, die, weil von Wasser berührt, elektrisch geworden sind und lange Zeit elektrisch bleiben, besitzen eine außerordentliche Tragfähigkeit.

Wie die Lösung, so ist auch die für das Leben der Pflanzen, Tiere und Menschen so ganz unentbehrliche Endosmose das Werk der Elektrizität.

In ein Ringglas (S. 121) klemme ich eine senkrecht stehende, allenthalben möglichst dicht schließende, aus starkem (Postkarten-) Papiere geschnittene Scheidewand a b (Fig. 120), die ich, damit sie besser stehe, S-förmig biege. Wird sie erst einmal eingeweicht, vollends zurecht gebogen und wieder getrocknet, so ist es, eventuell unter einer schwachen Lupe, leicht, sie genau so einzusetzen, wie es die Abbildung zeigt. Hierauf wird die eine der beiden so entstandenen Kammern zu drei Vierteln mit Spiritus Sp, und die andere ebensohoch mit Wasser W gefüllt. Es war nun zwar nicht zu erwarten, etwas vom Durchgange der einen oder anderen Flüssigkeit durch die für endosmotische Zwecke sehr dicke Scheidewand sehen zu können; allein bei a und b, wo die letztere, wenn auch anscheinend luftdicht an die Glaswand, aber doch nur mit der einen Kante a' (Fig. 121) der 0,2 mm dicken



Fig. 120.

Scheidewand stößt, können leicht bewegliche und sich rasch ausbreitende, also schnell stark elektrisch werdende Flüssigkeiten bequem in diesen, mikroskopisch

gesprochen kapillaren Raum eindringen; auch zwischen der Fläche, womit die Scheidewand auf dem Gefäßboden aufsteht, und diesem selber wird Durchlässigkeit, indessen schon viel weniger vorhanden sein, weil der verhältnismäßig dicke Steg a b ja mit seiner ganzen ebenen Schnittfläche auf dem gleichfalls ebenen Glase steht, die Berührung des festen und festweichen Körpers an

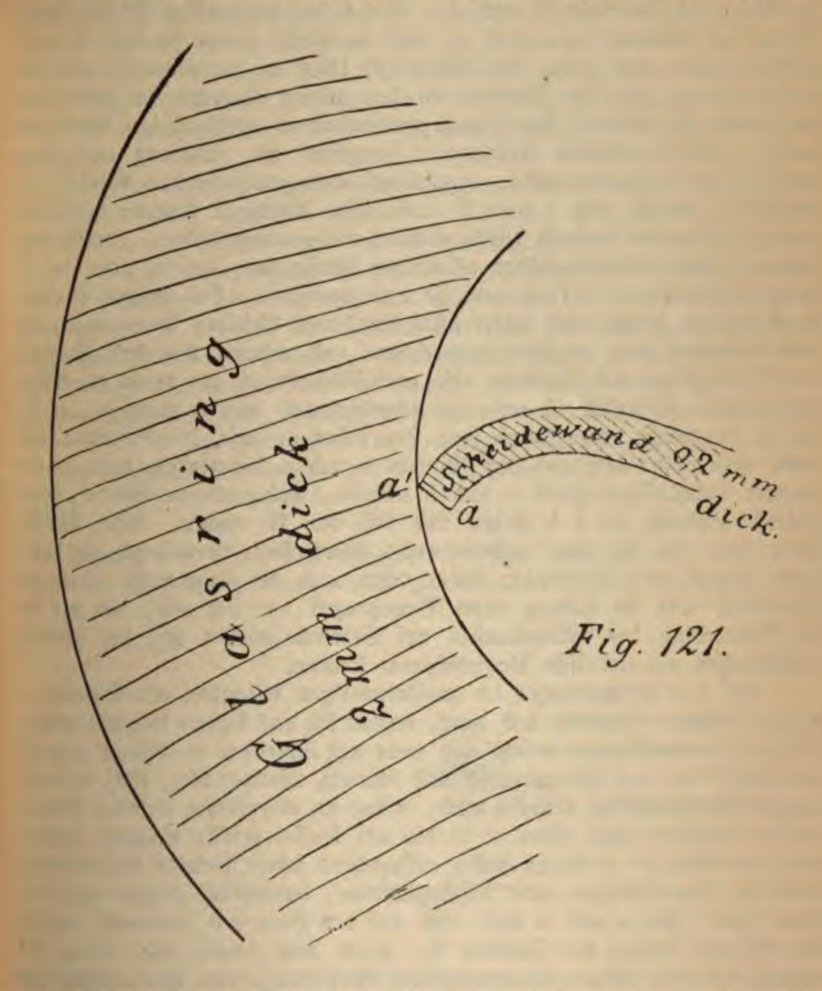


Fig. 121.

dieser Stelle also eine viel innigere, weil breitere ist als bei a und b. An diesen beiden senkrechten kapillaren Spalten aber kann man den osmotischen Verkehr der beiden Flüssigkeiten unter der Lupe oder unter dem Mikroskope ganz nach Wunsch beobachten, falls sie was bei der feineren Untersuchung ihrer Bewegungen ja immer nothwendig ist, hinlänglich viel sehr kleine Fremdkörper enthalten

liegen. Bevor dieselbe entsteht, d. h. bei der ersten Berührung des Wassers durch den bei n n herausdrängenden Spiritus, oder des Spiritus durch den hervorbrechenden Aether, steigt die Temperatur nämlich so sehr, daß der benachbarte Teil des Wassers fast ebenso warm, also gleichnamig und infolgedessen fortgestoßen wird, und heftige Abstoßung des Wassers durch den sich ausbreitenden Spiritus sahen wir ja schon Seite 224. Da dieser Stoß hinter sich natürlich saugend, als Zug wirkt, so rückt im selben Augenblicke eine neue Portion Spiritus von m und m her nach; wieder steigt die Temperatur, und abermals erfolgt Abstoßung in der Richtung auf W, so daß diese Gegend sich nun gleichfalls, obgleich weniger erwärmt wie n und n und eben darum, wie das Umwandlungsgesetz lehrt, entgegengesetzt elektrisch wird, die abgestoßenen Massen anzieht, gleichnamig macht und wieder auf n n bez. a b zurückstößt. So wiederholt sich der Uebertritt von Flüssigkeit aus der Spirituskammer in die Wasserkammer, oder aus dem Aetherbehälter in den Spiritusbehälter ebenso oft als man einen Fremdkörper von hier nach dort geschleudert und wieder zurückkommen sieht; und wenn wir uns die Wirkung der zwar sehr schwachen, aber doch geordneten Wirbel bei m und m in ähnlicher Weise vorstellen, so bleibt zum völligen Verständnis der Endosmose nur übrig denjenigen Vorgang etwas genauer anzusehen, wodurch sie eingeleitet wird, die Kapillarattraktion. So ist schließlich nichts weiter als Endosmose im kleinen bis im kleinsten Maßstabe und darum jetzt auch leicht begreiflich.

Unweit von einem Wassertropfen W (Fig. 122) liegt auf dem Objektträger ein etwa 20 mm langer und 2—3 mm breiter Streifen gewöhnlichen

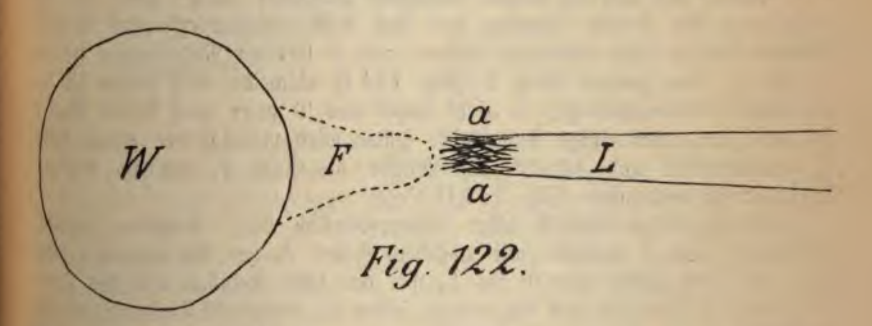


Fig. 122.

Fließpapieres L, dessen dem Wasser zugewandtes Ende quer abgerissen worden ist, damit mehrere von den Fasern, woraus es besteht, frei hervorragen. Hierauf wird der Fortsatz F aus dem Wassertropfen mit der flach gehaltenen Nadel gezogen, den längsten Faserenden fast bis zur Berührung genähert und dann L an F behutsam so nahe heran geschoben, daß zwei von den längsten Fasern, aber nur mit ihren äußersten Enden a a in das Wasser tauchen. Augenblicklich schießt das letztere heraus, fährt an ihnen

Tag und Nacht erneuernden Elektrizität Ozon entwickeln, das die aufgetroffenen Schädlinge zerstören hilft, nützliche Zersetzungsprodukte liefert und vor allem der Atmung, deren Pforten ja ganz vorzugsweise in der Nähe von Haaren und zwischen denselben liegen, ohne allen Zweifel unschätzbare Dienste leistet. Hier wollte ich jedoch nur darauf hinweisen, daß es die Elektrizität sein muß, welche die auf toten oder lebendigen Körpern stehenden, durch Wasser allein nur zu leicht schlaff werdenden Haare so tragfähig, so fest wie Säulen macht; und im Besonderen dürfte dies wohl davon herrühren, daß die getragenen Dinge, welche vermittelst der Influenzelektrizität erster Art festgehalten werden — adhärieren, wie wir sagen — durch die abstoßende Wirkung der am Fuße ihrer Träger und rund um ihn herum vorhandenen Influenzelektrizität zweiter Art im Gleichgewichte gehalten und in ähnlicher Weise wie die schwimmenden Körper balanciert werden (S. 145). Demnach scheint auch in Anbetracht der letztgenannten Beobachtungen Aussicht vorhanden, daß diese eigentümliche Tragkraft viel mehr als bisher verwertet werden könne.

Endlich noch Eins. Schiebt man unter der Lupe an einen auf den Objektträger soeben gesetzten Wassertropfen ein Stückchen eines hygroskopischen, jetzt aber durchaus trockenen Salzes, z. B. von Natriumnitrat, unter Abhaltung des Atems, so nahe heran, bis sich beide berühren, so wird das letztere, auch wenn es ansehnlich, d. h. gegen 1 mm groß ist, plötzlich weit hinauf auf die Konvexität des Tropfens gerissen, sodaß es auf ihn förmlich zu springen scheint. Dagegen thut dies ein ebenso behandeltes Stückchen eines nicht hygroskopischen Salzes nur in sehr geringem Grade; ja ein Klümpchen Magnesia, daß den Tropfen schon länger als eine Sekunde berührt, will er er nicht einmal benetzen — so gering ist die Anziehung zwischen den beiden Körpern. Die Kraft, wodurch ganz vorzugsweise Stückchen hygroskopischer Salze auf und in einen konvexen Wassertropfen, den sie soeben berühren, mit einem förmlichen Rucke gezogen werden, die Erscheinung, die bisher zur „Kapillarattraktion“ gerechnet wurde, weil unmittelbar vor der gegenseitigen Berührung unzählige Kapillarräume entstanden, ist mit Rücksicht auf die Erklärung der Anziehung hygroskopischer Körper (S. 231) unzweifelhaft Elektrizität, erzeugt durch die plötzliche Erwärmung des betreffenden Salzes infolge seiner bis aufs Aeußerste gesteigerten Annäherung an die Wasserdampfquelle. Und diese großartige, schon mit bloßen Augen sichtbare, blitzschnelle Massenbewegung bestätigt wieder, daß die Lösung, die ihr auf dem Fuße folgt, nichts anderes als eine Elektrizitätswirkung ist.

Kapitel XXVII.

Metallfeile und Haare auf konvexer und konkaver Wasserfläche.

Entstehung des konkaven Wasserrandes. Mit einer elektrisch gemachten Nadel läßt sich nachweisen, daß der konvexe Wasserrand entgegengesetzt elektrisch ist zu dem konkaven. Auf Wasser schwimmende Kugeln. Beide Elektrizitäten können noch nebeneinander bestehen, wenn ihre Entfernung weniger als $^1/_{10}$ mm beträgt. Der konvexe Rand des Quecksilbers.

Gleichzeitig mit den beiden so grundverschiedenen Formen des Randwinkels, wovon das zweite Kapillaritätsgesetz der Physiker handelt, zeigen Fremdkörper, die sowohl auf die Oberfläche der konvex als auch auf jene der konkav anstehenden Flüssigkeit gebracht werden, zwei einander direkt entgegengesetzte Bewegungen. Wie Anziehung und Abstoßung in der Nähe eines geriebenen Glas- oder Harzstabes erscheinen sie unfehlbar, wiederholen sich bei jeder neuen Bestreuung und verraten sich sofort als die Wirkung polarer Kräfte.

Als wir die Bewegungen des Kampfers unter der Lupe studierten, begegneten wir außer seinen Zuckungen pp. sehr oft der Erscheinung, daß er von der Höhe des Wasserberges mit zunehmender Geschwindigkeit nach dessen Rande eilte. Nehmen wir aber eine ebenso große oder auch größere konkave Wasserfläche, Wasser, das in einem Ringglase oder in einem Tuschnäpfchen an den Wänden höher hinaufreicht als in der Mitte des Gefäßes, weil die Flüssigkeit geschwenkt oder gerührt wurde, so zeigt sich das gerade Gegenteil, nämlich daß feste, leichte, nahe dem Rande darauf fallende Körperchen sehr schnell, diesmal aber mit abnehmender Geschwindigkeit nach der Mitte des Wasserspiegels eilen. Stellt man sich endlich durch vorsichtiges Auffüllen eine kleine, ebene oder nahezu ebene Wasserfläche her, so zeigen die, wo immer darauf geschütteten Körperchen nur, und auch blos in den ersten Sekunden, kleine, ohne Lupe schwer erkennbare Bewegungen untereinander, sodaß man glauben könnte, die Ursache sowohl des zentrifugalen als auch des zentripetalen, so großartigen Abmarsches jener liege in der Oberflächenkrümmung. Auf einer ebenen Wasserfläche sind aber vom Rande nach der Mitte zu die Temperaturunterschiede sehr gering; während sie in dieser Richtung auf konvexer Wasserfläche schon groß, auf konkaver aber noch größer werden können, sodaß nach dem, was wir über den Ursprung der Elektrizität erfuhren, starke bez. sehr starke Elektrizität auf der gewölbten bez. ausgehöhlten Wasserfläche eben **durch die von deren Form abhängigen Temperaturveränderungen** entstehen muß.

Dafür, daß die genannten beiden einander schnurstraks entgegengesetzten Bewegungen elektrische sind, spricht aber schon ihre Ungleichförmigkeit, die Eigenschaft, welche sie mit denjenigen Kräften gemein haben, die nach dem reziproken Quadrate der Entfernung wirken; denn da hier weder Newtonsche noch magnetische Attraktion vorliegen kann, so bleibt nur noch die Elektrizität

als Ursache übrig; und daß sie es wirklich ist, soll jetzt auch anderweit zu beweisen versucht werden.

Zum Bestreuen des Wassers mit kleinen Teilchen verwenden wir zunächst teils kurze und unregelmäßig gestaltete, teils lange, aber regelmäßig gebildete Körper, und beide von verschiedenen Größen; die ersteren sind Horn-, am einfachsten Feilspähne von Metallen, sagen wir kurz Eisenfeile, und die letzteren $1^1/_2$ bis fast 10 mm lange Stücke von feinen Haaren. Diese wie jene sollen uns als Elektroskope dienen, und infolge ihrer so sehr verschiedenen Eigenschaften werden die einen dies, die andern jenes besonders oder auch ausschließlich leisten. Die Feilspähne nehme ich stets auf eine kleine Messerspitze und lasse sie von dieser auf das Wasser fallen, während die Haarstückchen meist mittelst der Nadel einzeln aufgelegt wurden.

An der Eisenfeile kann man die beiden gegenläufigen Bewegungen schon mit bloßen Augen sehen, wie denn auch jedermann weiß, daß der Schaum auf dem Kaffee in der Tasse und dergl. manchmal nach dem Rande und manchmal nach der Mitte geht. Die Länge des Weges aber, welchen die Feilspähne zurücklegen, hält sich, falls man davon blos eine Skarifikatorspitze voll ruhig darauf gleiten läßt, in ziemlich bestimmten Grenzen, d. h. ungefähr 25 mm beträgt die längste, sowohl in zentrifugaler als auch in zentripetaler Richtung zurückgelegte Strecke, und bis etwa 40 mm, wenn sehr viel, nämlich eine gewöhnliche Messerspitze voll aufgeschüttet ward. Läßt man jedoch nur verhältnismäßig wenige Spähnchen fallen, so darf das höchstens 22 mm vom konvexen Rande entfernt geschehen, sonst gehen sie nicht mehr nach ihm hinunter; und andererseits bewegen sie sich blos ebenso weit vom konkaven Rande nach innen, wenn man nur ganz wenig nahm.

Daß die zurückgelegte Strecke der Eisenfeile, je nachdem davon viel oder wenig aufgeschüttet wurde, verschieden groß ist, scheint einen besonderen Grund zu haben; und doch hängt das von derselben Kraft ab, welche die auf konvexer und konkaver Wasserfläche so direkt entgegengesetzten Ortsveränderungen der darauf gefallenen Körper bewirkt. Plötzlich vom Wasser berührt, werden die Metallteilchen elektrisch, und dies sieht man schon daraus, daß sie, wie oben angedeutet, auch auf ebener Wasserfläche während der ersten Sekunden sich ruckweise, wenn auch nur sehr wenig ausbreiten oder zusammendrängen, auf kurze Entfernung hier oder dort abstoßen und umlagern bis sie, was eben sehr bald geschieht, sich alle zusammen nicht mehr rühren. Auch die hübsche Erscheinung, daß zwei oder mehrere auf eine ebene, nicht zu kleine Wasserfläche gestreute, verschieden große Partieen von Eisenfeile sich von weitem langsam anziehen, der größere Fleck den kleineren mehr als der kleine den großen, dabei sich immer etwas drehen, d. h. nur gewisse Vorsprünge einander mehr und mehr zukehren und schließlich ungemein schnell an und in einander fahren — dies Spiel, das man ja so oft auch an Fettaugen und dergl., indessen lange nicht so gut beobachten kann, sieht täuschend aus wie bleibende elektrische Anziehung, die Hunderte von Teilchen zusammenhält und im Großen zu zeigen scheint, wie aus Molekülen Körper werden. So lange sie oberseits trocken bleibt, also schwimmen kann, beschleunigt die Eisenfeile unausgesetzt die Verdunstung und erhält de

durch, oder auch durch die entgegengesetzte Temperaturänderung, die Elektrizität umso mehr, je größer die Menge der einzelnen elektrisch gewordenen Teilchen ist. Eben darum wird ein großer, zum konvexen Wasserrande ungleichnamig elektrisch gewordener Haufen Metallfeile von diesem aus viel größerer Entfernung angezogen, und ein großer, gleichnamig zum konkaven Rande elektrisch gewordener Haufen von diesem viel weiter abgestoßen als ein kleiner. Nur als elektrische Anziehung und Abstoßung sind die beiden so großartigen gegenläufigen und ganz unfehlbar wiederkehrenden Bewegungen verständlich.

Wie das Objektglas von dem Wassertropfen, den man darauf setzt oder fallen läßt, rings um denselben elektrisch wird, wird es auch die Wand des Gefäßes, das Wasser enthält, an der Wasserlinie, am Rande. Da wo die Unterlage des Wassers eine feste Fläche ist, zeigt sich diese Elektrizität stark genug um, wenn man das Glas mit dem Tropfen umkehrt, zu bewirken, daß dieser, wie die Fliege an der Decke, nicht herabfällt. Hier im Gefäße aber ist die elektrische Anziehungskraft so mächtig, daß sie den Wasserrand in die Höhe hebt oder ihn, wenn er durch zufällige Schwankungen des Ganzen so hoch gekommen ist, bleibend festhält. Da es nun hauptsächlich von der Verdunstungsfähigkeit des Wasserrandes abhängt, wie sehr seine Elektrizität, für unsere schwachen Augen natürlich unsichtbar schnell, noch zunimmt, so ist leicht einzusehen, daß er, hohl auslaufend, weit stärker elektrisch sein muß als wenn er gewölbt ist. Folglich werden Fremdkörper, die Feilspähne, welche die Konkavität berühren, unbeschadet dessen, daß jeder einzelne von ihnen seine kleine Unterlage anzieht, von der Hohlkehle als Ganzes augenblicklich gleichnamig elektrisch gemacht, also abgestoßen, während die auf die schwächer elektrische Wölbung fallenden nur Anziehung erleiden und, wenn sie auch sehr bald gleichnamig geworden sein müssen, doch nur, wie das Pendel in Fig. 68 festgehalten werden, und zwar da, wo die Elektrizität der gewölbten Fläche am stärksten ist, nämlich am äußersten Rande, der relativ schnell verdunstet und seine Temperatur am leichtesten ändert. Ein Beweis für das Zutreffende dieser Erklärung folgt sogleich, wenn wir statt der Metallfeile Haarstücken nehmen.

Es läßt sich aber auch noch genauer angeben, wie die Konkavität, das Höherstehen des Randstreifens einer in einem Gefäße befindlichen Flüssigkeit zu stande kommt. Diese Erscheinung hat zwei Ursachen, die zwar immer zusammenwirken, von denen aber in der Regel die eine ganz vorzugsweise in Betracht kommt.

Zunächst muß daran erinnert werden, daß nicht bloß das auf eine poröse Unterlage geträufelte oder langsam ausgegossene Wasser stets konvexen Rand hat, sondern daß dies auch, wenigstens teilweise bei jenem der Fall ist, welches in ein zylindrisches aber weites Gefäß einigermaßen behutsam eingelassen wird. Setzen wir z. B. den umgekehrten Deckel einer Porzellanbüchse vor uns hin und gießen ihn halb voll Wasser, das an einem benetzten Glasstabe ohne Anwendung weiterer Vorsicht herabläuft, so sieht man sofort, daß der Wasserrand zwar hier oder da aufsteigt, größtenteils jedoch nach außen hin abfällt; und um sich davon, ohne die Ruhe des

rischen Stabe wird der Kork unter den zuletzt genannten Umständen nicht nur aus der Ferne angezogen, sondern auch aus der Ferne abgestoßen! Und wo ist die Kraft, die hier den geriebenen Stab ersetzt? Wer liefert sie, wenn in dem Flüssigkeitsbehälter, den wir Zelle nennen, neues Leben erwacht, das alte sich erhält und ihr Inhalt, daß man staunen muß, bald so bald anders strömt und kreist? Wir wußten es nicht; aber ein Wassertropfen, mit dem, was auf und in ihm ist, wird es uns lehren.

Viel kann man nun auch noch von den oben (S. 258) erwähnten Stücken von Haaren lernen, weil diese auf dem Wasser liegenden Stäbchen durch einen kleinen Kunstgriff Millimeter für Millimeter sich auf ihre Elektrizität prüfen lassen.

Als einzelne Spähne der auf ebenes Wasser geschütteten Eisenfeile sich erst drehten und wendeten, ehe sie einander festhielten, so lagen zufällig zwei gleichnamig elektrische Stellen zweier Metallstückchen nebeneinander; sie stießen sich ab und lagerten sich augenblicklich so, daß nun zwei ungleichnamige Pole einander berührten oder doch ganz nahe waren. Bringen wir nämlich einen elektrisch gemachten Gegenstand in die Nähe der einen oder andern kleinen zusammenhängenden Gruppe von auf dem Wasser liegenden Feilspähnen, so sieht man, daß dieselbe auf einer Seite angezogen und auf einer andern abgestoßen wird. Weil es aber sehr mühsam ist, bei einer solchen Gruppe, ja selber bei einem einzelnen Spähnchen sich die betreffenden Punkte zu merken und sie zu treffen bez. wieder zu treffen, so nahm ich vollkommen regelmäßig geformte Körper, die man gleichfalls jeden Augenblick haben kann, nämlich 2—10 mm lange, möglichst gerade Stücken von Haaren, und zwar gleich von den eigenen Kopfhaaren.

Legt man davon ein 4 5 mm langes, gerades, völlig zylindrisches Stück 1) auf einen recht konvexen, 9—10 mm großen Wassertropfen T (Fig. 126), so erkennt man unter der Lupe bei schiefer Beleuchtung sofort, daß

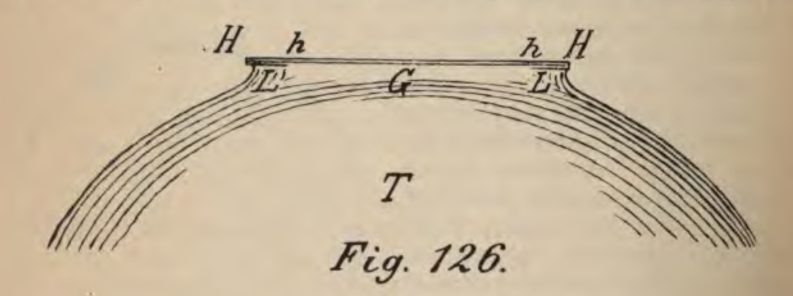


Fig. 126.

das Haar H H wie ein Stock, der auf einem weichen Kissen liegt, in der Mitte eingesunken ist, daß also das Wasser daselbst rechts und links von dem Haare gewölbt aufsteigt. (Vgl. was über die auf Wasser gelegte Nadel S. 145 bemerkt wurde.) Allein nicht blos, daß der eigentümliche Einschnitt, in welchem das Haar liegt, gegen seine beiden Endpunkte hin

immer flacher wird, sondern da, wo er aufhört und die Haarenden, wie der Stock über das Kissen, frei hervorstehen mußten, zeigt sich auch, zumal wenn man es nahe an den jäh abfallenden Wasserrand gebracht hat, die Haarenden also von der Seite, wie Figur 126 zeigt, sehen kann, daß das Wasser daselbst den Zwischenraum zwischen der Wasseroberfläche und dem Haarende mit einer mehr oder weniger hohen, seitlich wie eine Eisenbahnschiene ausgehöhlten Leiste L L ausfüllt. Folglich ähnelt diese Füllung einem Ausschnitte aus dem konkav ansteigenden Wasserrande in einem Gefäße, hat jedenfalls sehr wenig Körper und muß, wie der letztere, sehr stark verdunsten, also kälter wie das übrige werden, oder auch umgekehrt wärmer, wenn die Umstände danach sind. Als nämlich das Haar auf den elastischen Tropfen fiel, drückte es ihn einen Augenblick tiefer ein als nach dem Stoße, sodaß während des tieferen Eintauchens auch die untere Hälfte des Haarteiles H h benetzt wurde; diese ließ das Wasser aber nicht wieder los, weil sie, wie jene Gefäßwand (S. 260) durch dasselbe elektrisiert worden war. Demnach haben wir etwa im mittleren Drittel neben dem Haar — und ich muß hinzufügen, daß es jedes sorgfältig entfettete, z. B. das von einem Wasserfarbenpinsel, genau ebenso macht — die konvexe Adhäsionsform, und an den beiden Enden des ersteren etwas der konkaven sehr Aehnliches, die beiden so grundverschiedenen Adhäsionsformationen aber an einem und demselben und, was hier die Hauptsache ist, einem äußerst beweglichen Körper vor uns; mithin wird derselbe, wenn die beiden Arten der Adhäsion die Wirkung der einander entgegengesetzten und sich selber immer wieder von neuem erzeugenden Elektrizitäten sind, von einer gegebenen Elektrizitätsquelle hier angezogen und dort abgestoßen werden. Wäre es nun möglich durch einen elektrischen Gegenstand den einen Teil des auf dem Wasser liegenden Haares anzuziehen, den anderen dagegen abzustoßen und beides konstant und leicht in augenfälliger und unzweideutiger Weise zustande zu bringen, so wären unter der Lupe und an Flüssigkeiten die beiden Arten der Elektrizität ganz ebenso wie im Großen und an festen Körpern nachgewiesen.

Der elektrische Körper nun, durch welchen das als Elektroskop dienende Haar wie ein geladenes Pendel durch einen geriebenen Glas- oder Harzstab so oder so in Bewegung gesetzt wird, ist nichts weiter als die gewöhnliche Nadel, die unter der Lupe in das Wasser möglichst senkrecht und dort so wenig wie möglich eingetaucht wird, wo es neben dem Haare entweder ein Gewölbe, oder wo es unter den beiden Enden desselben eine auffallende Leiste bildet, also bei G und L L in Figur 126 und bei N′ und L L in Figur 127. Denn die Spitze der Nadel (0N bez. 0N′) wird durch ihre plötzliche Berührung des Wassers ebenso elektrisch wie eins der darauf gefallenen Metallspähnchen, und sie bethätigt das unfehlbar und blitzschnell durch Anziehung eines ansehnlichen Wasserkegels. Daß aber Hand und Nadel sich berühren, schadet nicht nur nichts, sondern ist gerade gut, weil, wenn die erste Elektrizitätsursache, die Abkühlung aufhört, die zweite, die Erwärmung durch den Versuchanstellenden und vorzugsweise durch dessen Hand zur Wirkung kommt. Indessen — unterscheiden wir genau! Eigentlich kann es

nicht die Elektrizität der Nadel selber sein, welche auf das schwimmende Haar wie die des Stabes auf das geladene Pendel wirkt, sondern nur die Influenzelektrizitäten der Nadel und des Haares bearbeiten sich, die beiden Elektrizitäten des von diesem wie von jener angezogenen, des adhärierenden Wassers wirken auf einander ein. Da es aber ganz undenkbar ist, daß die Nadel und das Haar, welche durch Berührung des Wassers elektrisch werden, dasselbe nicht influenzieren, es in ihrer unmittelbaren Nähe nicht stark elektrisch machen und es hier nichts verschlägt ob primäre auf primäre, oder sekundäre auf

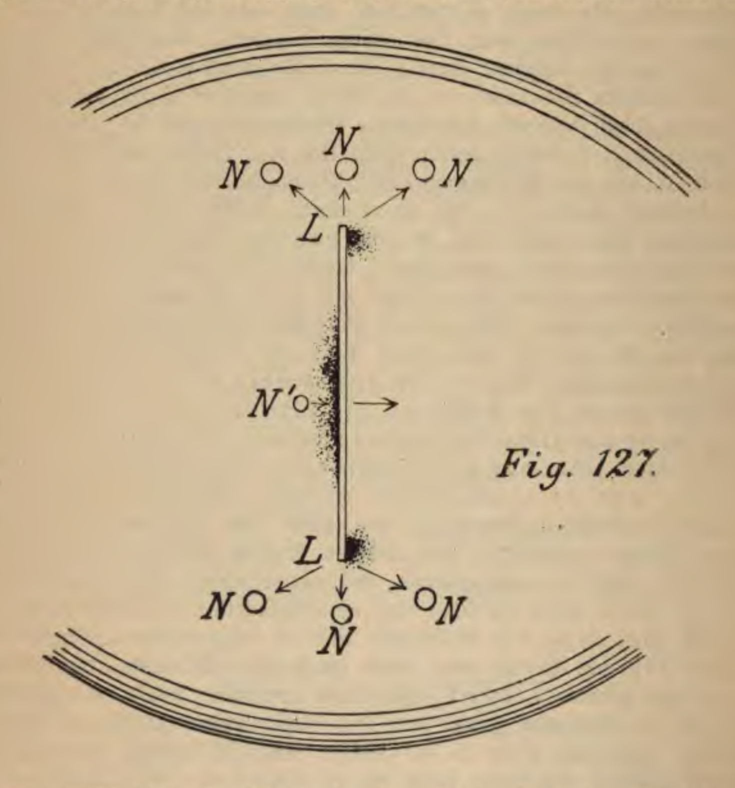


Fig. 127.

sekundäre Elektrizität einwirkt, so sprechen wir im Folgenden schlechthin nu
von der Elektrizität der Nadel und des Haares. Uebrigens kann man sta
der Nadel jeden andern starren Körper nehmen — sie werden eingetauc
eben alle elektrisch und ziehen das Wasser an, nur daß es der eine meh
thut als der andere.

Berührt man in der angegebenen Weise mit der Nadel beide Wasserleisten L und L nach einander, die rechte mit d rechten und die linke möglichst mit der linken Hand, so wird d ganze Haar heftig angezogen und nur beim Herausziehen d Nadel wieder losgelassen; berührt man mit ihr aber die höch

Stelle einer der beiden Wasserwölbungen längs des Haares, so wird es quer und trotz des in dieser Lage so großen Widerstandes ganz entschieden abgestoßen.

Mit derselben Nadel läßt sich sowohl die Anziehung als auch die Abstoßung beliebig oft hintereinander wiederholen, denn bei jedem Eintauchen entstehen von neuem Temperaturänderungen und Elektrizität; und wie alle elektrischen Anziehungen und Abstoßungen werden auch diese durch Erwärmung, z. B. auf warmem Wasser oder mit erhitzter Nadel bis zu einem gewissen Grade verstärkt. Je kürzer aber das Haarstück ist, umso weniger sind, weil es jetzt nur noch wenig einsinkt, die Bedingungen für seine Abstoßung durch unsere Elektrizitätsquelle gegeben, bis es schließlich so kurz wurde, daß bei jeder Berührung des Wassers zu seinen beiden Seiten nur eines der Enden sich herumwirft und an die Nadel fliegt. Daher kann man jede Kleinigkeit, die auf eine konvexe Wasserfläche gefallen ist, ohne Mühe fortnehmen, was, wie wir unter 2) sehen werden, bei einer konkaven blos unter besonderen Umständen möglich ist. Das vom Haare festgehaltene Wasser muß aber bis auf die dünne Schicht, welche ihm unmittelbar anhängt, gleichnamig elektrisch sein, wie unser Pendel (S. 150), das von dem negativen Drahte bleibend angezogen ward; denn sonst würde das Haar, wenn die Wasserleiste L mit der elektrisierten Nadelspitze berührt wird und dabei augenblicklich auf die letztere konisch übergeht, nicht selber mit nachfolgen. Ist das Haar jedoch so lang, daß seine Enden den einander gegenüberliegenden Punkten des Tropfenrandes sehr nahe kommen und sich dem letzteren, wenn es ebenso wie dieser gekrümmt ist, anschmiegen, die aufgelegte Last H H (Fig. 128) also in keiner Vertiefung liegt, so wird es von der an seinen

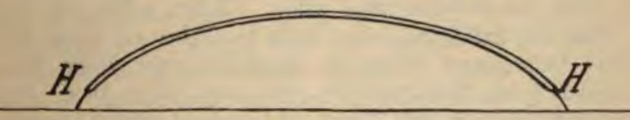
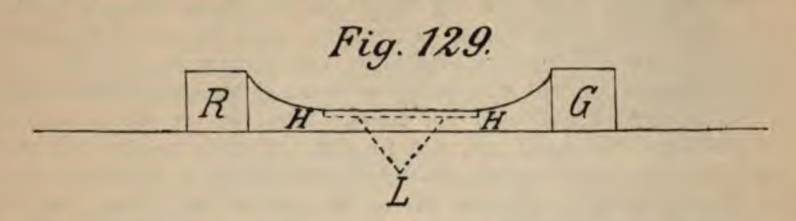


Fig. 128.

Seiten eingetauchten Nadel dennoch stark abgestoßen, weil der Tropfen von selber am Rande und oben in der Mitte entgegengesetzt elektrisch ist, die beiden Elektrizitäten also dem bis herabreichenden Haare mitgeteilt. Davon später mehr; sofort sieht man jedoch, daß die Bedingungen, von welchen wir die doppelte Elektrizität des verhältnismäßig kurzen und geraden, das Wasser eindrückenden Haares ableiteten, auch vorhanden sind, wenn der Tropfen unbelegt, nämlich eine gewölbte Fläche ist, die oben verhältnismäßig schwer und nach unten hin zunehmend leicht ihre Temperatur ändert.

2) Auf eine konkave Wasserfläche, am besten in einem halbgefüllten Ringglase G R (Fig. 129), weil darin konvexer Wasserstand schon nicht mehr vorkommt, wird ein wieder 4—5 mm langes, zylindrisches Haar H H gelegt, diesmal aber vom Anfangsteile eines feinen Wasserfarbenpinsels, weil

es ganz gerade bleiben soll. Sogleich geht es, wie darauf gestreute Metallfeile, nach der Mitte. Um sicher zu wissen wie das an ihm adhärierende Wasser sich verhält, muß man, weil es nicht geneigt werden darf, das Kom-



positum nehmen und dafür sorgen, daß auf dem Wasser sehr feine Stäubchen liegen, um an ihnen bei schiefer Beleuchtung und mit Hilfe der Mikrometerschraube seine Niveauverschiedenheiten bestimmt erkennen zu können. Unter etwa hundertfacher Vergrößerung zeigt sich nun, daß das Haar, wie auch nicht anders zu erwarten war, jetzt eine Lage hat, die gerade entgegengesetzt ist zu jener auf konvexer Wasserfläche, nur läßt sich eben alles schwerer erkennen als auf dieser: Die äußeren Drittel H L des mitten auf der konkaven Flüssigkeit liegenden Haares sind in dem aufsteigenden Wasser eingesunken und haben neben sich Wülste, die manchmal sogar über den äußersten Enden des ersteren zusammengeschlagen sind, während seine mittleren zwei Viertel das von unten und den Seiten her angezogene Wasser in eine, wenn auch nur niedrige Leiste L verwandelt haben; denn hier, an dem Mittelstücke des Haares geht das Wasser, wie allerdings erst starke Vergrößerungen zeigen, etwas in die Höhe, würde also, wenn nichts darauf läge, in der Mitte des Gefäßes tiefer stehen. Daher müssen jetzt die Enden des Haares, falls die Erklärung seiner durch die Nadel auf konvexem Wasser hervorgebrachten Bewegungen richtig ist, abgestoßen, seine Mitte aber angezogen werden, sobald die Nadelspitze bei jenen bez. neben dieser eingetaucht wird. So geschieht es auch und liefert dieser Gegenversuch einen artigen Beweis dafür, daß die Sache sich wirklich so, wie unter 1) angenommen wurde, verhält. Das heftige Fliehen der Haarenden auf konkavem Wasserrande vor einem neben ihnen eingetauchten Instrumente ist elektrische Abstoßung, und so begreift sich wenigstens zum Teil, warum ein in einem offenen, weiten Gefäße schwimmender Fremdkörper, den man am Rande doch ganz sicher zu bekommen meint, gerade dort am leichtesten entwischt. Denn die z. B. negative Elektrizität des mittleren Haardrittels, die zu jener des eingetauchten Löffels, Messers u. dgl. entgegengesetzte, ist stets viel schwächer als die positive der beiden Haarenden, sodaß man also nur ausnahmsweise die Stelle trifft, wo Anziehung erfolgt.

Hierher gehören auch die merkwürdigen Anziehungen und Abstoßungen, die man von alters her an Kugeln, die auf Wasser schwimmen, beobachtet hat.

Diese Bewegungen sind jedoch leicht zu verstehen, wenn man we[illegible] daß fast eine jede solche Kugel, die von einer andern angezog[illegible]

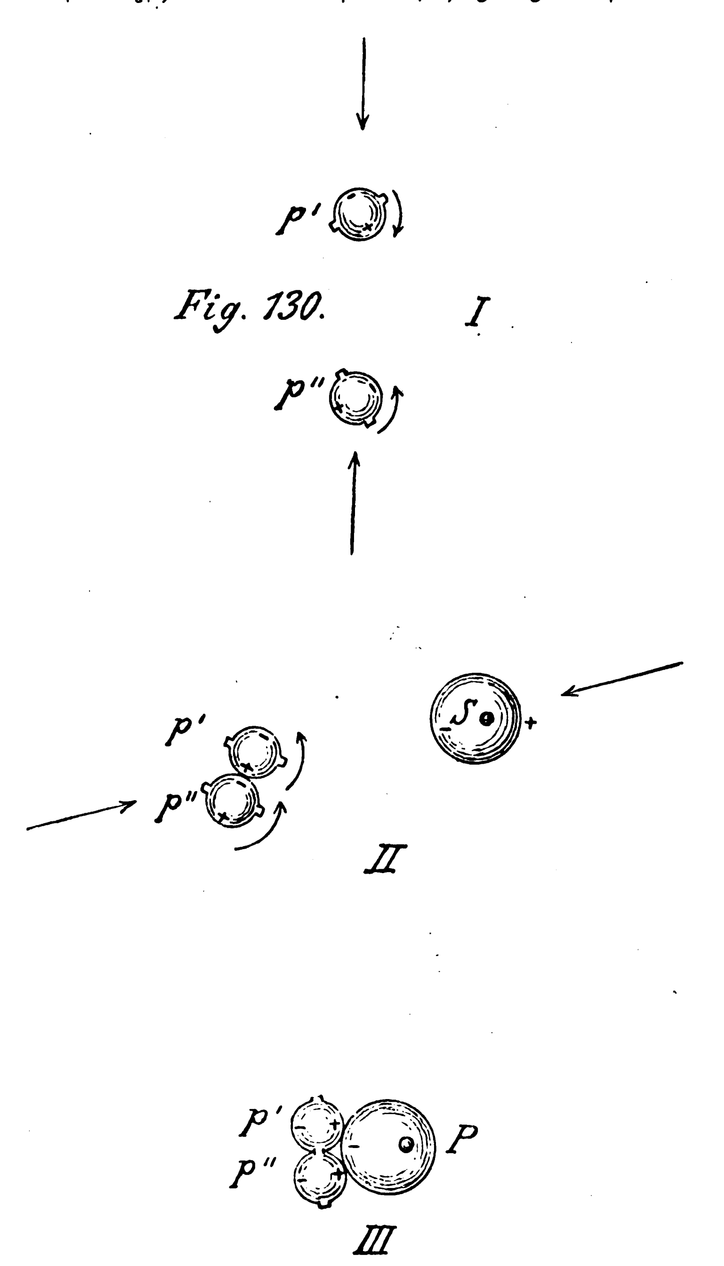
wird, **sich dabei um eine nahezu senkrechte Achse, rechts oder links herum bis etwa 90 Grade dreht** und daß sich beide, gleich den Feilspähnen (S. 258), so zurecht rücken, wie es nur zwei ungleichnamig elektrische oder magnetische Körper thun, bevor sie mit einem Male sich merklich schneller nähern und nun bei ihrem Sturze auf einander keine Achsendrehung mehr machen — an unserm Goldschaumpendel haben wir das alles tausendmal gesehen. Um jedoch die der Hauptanziehung vorhergehende Drehung der Kugeln deutlich wahrzunehmen, muß man dies, weil ihre Oberflächen meist nur sehr kleine Merkmale besitzen, mit Hilfe einer guten Handlupe thun und die Kugeln auf eine ebene Wasserfläche setzen, damit sie nicht von der Formation des Randes beeinflußt werden, sondern nur ihre eigenen Elektrizitäten haben, d. h. nur die, welche sie bei der Berührung des Wassers an Ort und Stelle empfingen. Hat man nun ihre richtige Entfernung, diejenige, aus welcher sie auf einander einwirken können, getroffen, so dreht sich wenigstens eine von beiden fast immer wie ich sagte; denn nur selten werden sie ihre entgegengesetzt elektrischen Stellen einander von vornherein zuwenden, sondern sie müssen sich beinahe alle erst richten oder orientieren, wie wir kurz sagen wollen.

Diese Orientierung sieht man in Fig. 130 zweimal, weil zugleich gezeigt werden soll, wie eine durch Elektrizität hervorgebrachte elektrische Verbindung auch leicht durch Elektrizität getrennt und in eine neue umgewandelt werden kann. Auf die Bestätigung der Annahme, daß die chemischen Vorgänge elektrische seien, zielt der nächste Versuch hin, und wenn wir bedenken, daß die Rolle, welche das Wasser bei der Elektrizitätserregung, wie wir so sehr oft sahen, spielt, in der Chemie vielfach vom Weltäther übernommen werden kann, so wird an der Uebereinstimmung gewisser physikalischer Vorgänge mit den einfachsten chemischen nur wenig fehlen. Jeder Schritt ist hier von Wichtigkeit, alles liegt klar vor Augen, und nichts ist leichter als den Versuch zu wiederholen, passend abzuändern und überhaupt zu vervollkommnen. Die Fälle dürften aber nicht häufig sein, wo man die scheinbar spontane Entstehung eines elektrischen Ganzen aus Teilen, die sämtlich nachweisbar elektrisch waren und es gleichfalls „freiwillig“ wurden, so mühelos beobachten kann.

In eine Untertasse mit Wasser, dessen Rand möglichst konkav gemacht worden war, ließ ich die 5 mm große Glasperle p′ geleiten (Fig. 130 I), und schickte ihr, als sie unweit der Mitte so ziemlich zur Ruhe gekommen war, eine ganz eben solche, nämlich p″, nach. Schon bei reichlich $1^1/_2$ cm Entfernung von einander begannen sie sich in der Richtung der Pfeile zu drehen, also diejenigen ungleichnamigen Pole einander auf kürzestem Wege zuzuwenden, welche sich bereits am nächsten waren.*) Als nun p′ und p″ nach beendigter Orientierung zusammenstießen, hingen sie, wie Figur 130 II zeigt,

*) Vermutlich war bereits die Stellung, welche die Perlen bei I und schon kurz vorher einnahmen, Fernwirkung, doch entzog sich die betreffende Drehung wahrscheinlich ihrer Kleinheit wegen der Beobachtung.

an einander und zwar so fest, daß sie keineswegs durch jeden Stoß von einander getrennt werden konnten; geschah dies aber nach einem stärkeren, so waren sie blitzschnell wieder beisammen, hingen gerade so wie vordem



an einander, und wollen wir annehmen, daß der Berührungspunkt des p′ positiv und jener des p″ negativ war.

So fest nun auch die Verbindung der beiden Perlen war, so geschwind gingen sie zu einer neuen über, als ihnen die große Glasperle P, die einen Durchmesser von 9 mm hat, nahte. Sie kam so, wie es Figur 130 III andeutet, auf die beiden kleinen zu, war aber p′ etwas näher wie p″; als ihre Entfernung von den letzteren jedoch nur noch reichlich 1 cm betrug, drehte sich p′ plötzlich in der Richtung des Pfeiles, einen Augenblick später auch p″ und im nächsten waren sie schon alle beisammen. Die Oesen der beiden kleinen Perlen zeigen aber bei III deutlich, daß jede sich einen Viertelkreisbogen um ihre senkrechte Achse gedreht hat, von der großen das Negative abgestoßen und das Positive angezogen wurde, mithin P an der Stelle, wo es von den kleinen Kugeln berührt wird, negativ ist. Diese neue Verbindung war schon erheblich fester als die alte; sowie ich jedoch P vorsichtig fortnahm, so trennten und orientierten sich p′ und p″ sofort, um sich im nächsten Augenblicke schon wieder ganz ähnlich an einander zu lagern wie in II, bevor noch P sie zwang, ihre erste Verbindung aufzugeben. Zerfallen mußten p′ und p″ bei der Fortnahme von P schon deshalb, weil sie in der Lage III sich mit zwei Punkten ihrer Indifferenzzone berührten, namentlich aber darum, weil rechts und links daneben ihre gleichnamigen Pole einander gegenüberstanden; und wieder zusammen fand sich positiv und negativ der beiden kleinen Perlen schon aus dem Grunde, weil zwei derartige Körper nicht absolut kongruent, die Elektrizitäten des einen also stärker sind als die des andern, sodaß auf einem gewissen Punkte ihrer Entfernung von einander der kleinere vom größeren wieder angezogen wird. Elektrisch bleiben sie aber, dank der rings um sie herum beschleunigten Verdunstung des Wassers, auf alle Fälle.

Legen wir endlich statt zweier Glas- oder zweier Wachskugeln nur eine von Glas und die andere von Wachs dicht neben einander auf Wasser, so geschieht dasselbe wie wenn das auf einem Wassertropfen liegende Haar abgestoßen wird, sowie man die Nadel auf einer seiner beiden Seiten eintauchte; denn an der Nadelspitze und an der Glaskugel steigt das Wasser konkav in die Höhe, und längs des Haares sowie rings um die Wachskugel steht es konvex, so daß dort starke, hier schwache Elektrizität herrscht. Daher wird das zwischen beiden Kugeln stehende Wasser größtenteils von der Glaskugel fortgezogen, und die Wachskugel, zumal sie eben sehr nahe neben jene gesetzt werden muß, mit der Glaskugel gleichnamig elektrisch. Warum aber eine Flüssigkeit, die einen festen Körper nur wenig oder gar nicht benetzt, an diesem konvex steht, werden wir Seite 273 am Quecksilber zeigen.

Indessen sind alle diese mit Adhäsionsverschiedenheiten Hand in Hand gehenden Elektrizitätserregungen noch viel feiner als man denkt.

Der folgende Versuch zeigt nämlich überraschend schön, wie die entgegengesetzten Elektrizitäten auf einer Linie von nur 4—5 mm Länge gleichzeitig fünfmal neben einander bestehen können, ja daß man im stande ist, ein Stäbchen, das noch kein zehntel Millimeter dick ist, auf beiden Seiten entgegengesetzt elektrisch zu machen.

Die Möglichkeit beide Arten der Elektrizität auf einer Strecke von einem halben Zentimeter mehrere Male neben einander, ja einmal + und negativ sogar auf einem schon mikroskopisch kleinen Raume zu erz und nachzuweisen, beruht darauf, daß wir die beiden einander ent gesetzten Oberflächenformationen des Wassers, seine Konvexität und Konk örtlich so nahe wie möglich auf einander folgen lassen, und zwar an dem zugleich als Elektroskop dienenden Haare. Aus einem hohen 10 mm großen Wassertropfe ich mit der schräg gehaltenen zwei gleich große kurze Fort derselben Richtung heraus o auf den Objektträger zwei kleinere Tropfen T T (Fig. nahe neben einander, lasse si der Nadel, die ich bei N un setzte, zusammen laufen un dadurch die mehr oder we Bucht B. Ueber diese leg ein 4—5 mm langes, ger in der Weise, wie es Fi zeigt, doch kommt es, w oben quer aufgelegt, auc selber richtig herunter. nämlich davon her, daß d tät des Mittelstückes de der Tropfenhöhe liegend zufolge deren es dort vo abgestoßen ward, entgegen der des Tropfenrandes; denn wenn man bei einem andern ähnlic ein Haar so, wie es Figur 132 andeutet, mit einem Ende in e Fortsatz F derart treibt, daß das letztere noch schwimmt, so wird bei N Nadelspitz lich ange rend die Fünftel neben e Nadel e den ab den. Wasser dem h Haaren Figur der der z

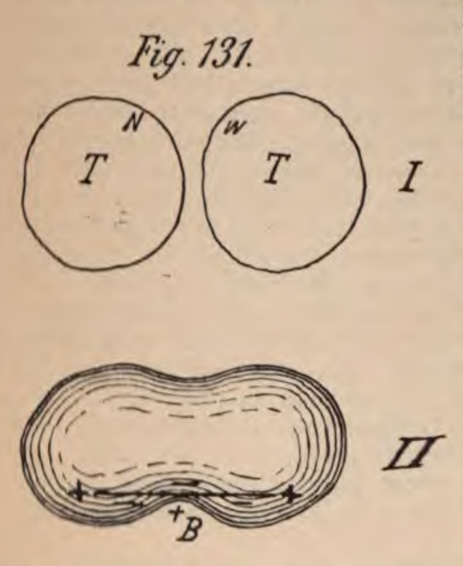


Fig. 131.

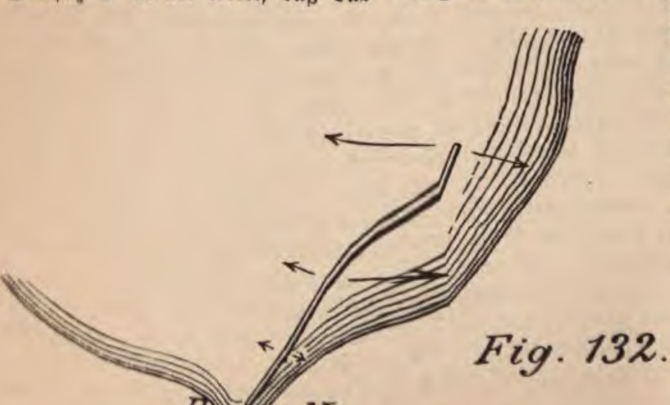
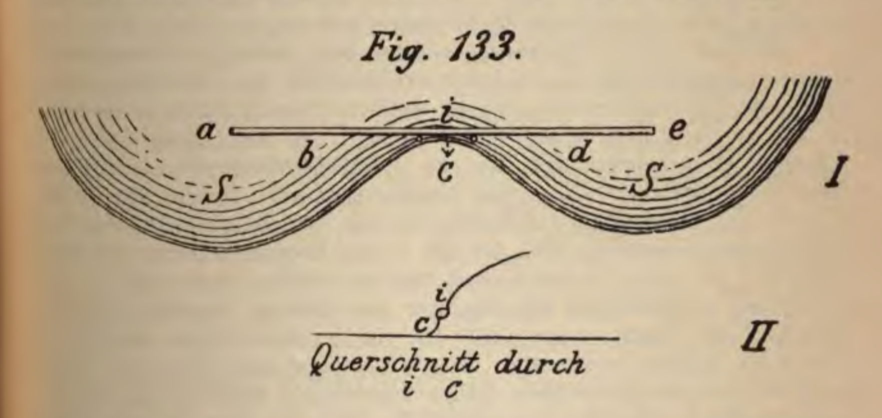


Fig. 132.

dem Haare befindliche gleichfalls sehr schmale Wasserstreifen; und darum ist er mit jenem auch gleichnamig elektrisch. Angenommen nun, daß das in Figur 131 oben aufgelegte Haar in der Mitte negativ, B aber positiv sei, so versteht es sich, daß nur die Haarmitte von B angezogen werden kann, daß sich der kleine Stab allemal so, wie man es haben will, von selber hinlegt, und daß niemals eines der beiden mit B gleichnamig elektrischen Enden des herabkommenden Haares auf B trifft; soll aber eins von ihnen dazu gezwungen werden, indem man es mittelst eines geeigneten Instrumentchens mit Gewalt dahin zu drängen sucht, so schnellt es doch immer wieder zurück, bis man sich den ganzen Tropfen verdorben hat. Das sind die wunderbaren Bewegungen, denen wir als Kinder am Rande einer Wasserlache so oft zusahen: Die Rindenstückchen, die Spähne, der Stock, die man vom Rande nach der Mitte hin stieß, sie kamen immer wieder an denselben Punkt und in dieselbe Lage zurück. — Bei a und e nun (Fig. 133 I) wird das

Fig. 133.



ganze Haar, entsprechend dem, was unter 1. bemerkt wurde, von der daselbst eingetauchten Nadelspitze stark angezogen; bei b und d beträchtlich abgestoßen, weil es hier am tiefsten eingesunken ist, bei c aber wieder, wenn auch nicht so stark wie bei a und e, angezogen. Das letztere kommt daher, daß das Wasser an dem Haare bei c, wie der Augenschein bei günstiger Beleuchtung lehrt, schwach konkav aufsteigt. Das steife Haar liegt hauptsächlich auf den großen Vorsprüngen S S, begiebt sich aber an c immer so nahe heran, daß es daselbst (Fig. 133 II) fast überhängt, und daß die kurze, oft kaum 0,3 mm betragende Entfernung von c bis zum Haar sich mit Wasser wie in Kapillarröhrchen, also mit konkaver Oberfläche füllt. Oberhalb dagegen, bei i, von wo an der Tropfen auch noch beträchtlich höher wird, zeigt sich das Wasser längs des Haares konvex, wenn auch nicht so bedeutend wie dem b und d gegenüber; daher geht das letztere — es ist gut, wenn man das Präparat, um nicht über das Haar hinüberlangen zu müssen, umdreht — vor der bei i eingetauchten Nadelspitze, zwar nicht viel, da es an Spielraum fehlt, aber doch entschieden, also nach dem Wasserrande hin, fort.

Das ist der merkwürdige Fall, wo auf der einen Seite eines kaum $^1/_{12}$ mm dicken Haares die eine, und auf seiner andern die entgegengesetzte Elektrizität vorhanden ist, offenbar zunächst durch nichts weiter bedingt als durch Oberflächenunterschiede, die man nur bei starker, d. h. mindestens 60facher Vergrößerung unter der Lupe klar erkennen kann.

Der Wert des in Figur 131 und 133 wiedergegebenen Beispiels von mehrfacher Elektrizität eines für das unbewaffnete Auge schon recht kleinen Haarstückchens kann nicht hoch genug angeschlagen werden; denn es liefert mit seinen verschiedenen Oberflächenänderungen des Wassers und dem von ihnen abhängigen Zeichenwechsel in einem für die Lupe immerhin noch großen Maßstabe das, was bei sehr viel kleineren elektrischen Körpern, den winzigsten Feilspähnen und Kampferbröckelchen auf dem Wasser, durch ihre vielfachen Ein- und Ausbuchtungen hervorgebracht wird, nämlich die schroff mit einander wechselnden Hoch- und Tiefstände desselben rings um sie herum, die hier Konvexität dort Konkavität verursachen, so daß ein solches Pünktchen an ebenso vielen Stellen abwechselnd positiv und negativ sein muß.

Aehnlich wie die Elektrizität des auf dem zweiteiligen Wassertropfen liegenden Haarstückchens in verschiedener Intensität und Qualität auftritt, stellen sich aber die Chemiker auch die Kraft vor, womit ein Atom im stande ist andere, das eine sehr, das andere weniger fest anzuziehen, dabei Abstoßungen zu verursachen und, wie sie so bezeichnend sagen, eine Auswahl unter einer gegebenen Menge von kleinsten materiellen Teilchen zu treffen. Da wir nun sahen, daß die Elektrizität und ihre beiden Arten noch an Gegenständen nachweisbar sind, die fast zu den kleinsten gehören, mit denen man unter der Lupe die betreffenden Versuche anstellen kann, und da wir wissen, daß die Elektrizität mit steigender oder fallender Temperatur zunächst schwächer oder stärker wird, dann bei in gleichem Sinne andauernder Temperaturänderung verschwindet, um mit entgegengesetztem Vorzeichen wiederzukehren, und daß sie in vielen Fällen unzweifelhaft die Kraft ist, die hier zusammenhält und dort auseinanderteibt: So dürfte die schon von Berzelius und Davy so eindringlich betonte, wenn auch vielfach bekämpfte Annahme, daß der Chemismus im Grunde nichts weiter sei als eine Elektrizitätswirkung, die im denkbar kleinsten Maßstabe mehr oder weniger verwickelt vor sich geht, viel an Wahrscheinlichkeit gewonnen haben.

Der Sprung aber von unserer Elektrizitätsentwicklung zu beiden Seiten eines Haares bis zu jener der Atome dürfte nicht viel größer sein als jener von der Elektrizitätserregung im Gewitter bis zu der einer fast mikroskopisch fein endigenden Glas- oder Harzsonde durch einmalige Berührung des Rockärmels.

Uebrigens läßt sich auch die Elektrizitätsart der Nadel, wie schon aus einem früheren Versuche (S. 98 f.) hervorgeht, durch starke Abkühlung der letzteren z. B. in Eiswasser, in die entgegengesetzte verwandeln: Denn von einer so kalten Nadel wird das Haar, wo immer in seiner Nähe man sie auch eintaucht, sehr stark abgestoßen; sogleich aber erscheint die gewöhnliche Anziehung der beiden Haarenden wieder, wenn man dieselbe Nadel ein paar

Sekunden zwischen die Lippen oder eine andere Nadel nimmt, mit welcher nichts Besonderes geschehen ist. Ohne Kenntnis des Umwandlungsgesetzes ist freilich auch diese Probe unverständlich.

Ueber die Gründe, warum der Rand des Quecksilbers trotz aller Hin- und Herbewegungen in Glas- und Porzellangefäßen konvex bleibt, möchte noch etwas bemerkt werden. Alles läuft darauf hinaus, daß es infolge seiner geringen spezifischen Wärme durch seine Reibung an den Wänden der Gefäße aus diesen und ähnlichen schlechten Wärmeleitern sich, wie bekannt, sehr stark elektrisiert; daher werden diese sofort gleichnamig elektrisch und wird das Quecksilber als sehr leicht bewegliche Flüssigkeit von ihnen (bekanntlich nicht von allen Metallgefäßen) nach Möglichkeit fortgestoßen, so daß es eben konvex ansteht.

Denn setzt man ungefähr $^1/_2$ Eßlöffel voll Quecksilber auf eine isolierte, etwas geneigte Glasplatte, so daß es in eine darunter befindliche, gleichfalls isolierte Porzellanschale läuft, so erweist sich sowohl das Glas als auch das Quecksilber negativ und zwar das Glas oft so stark, daß es das Pendel bis zur Berührung anzieht und sogleich abstößt.

Oder: Lasse ich im warmen Zimmer aus einem Blechlöffel einen etwa thalergroßen Tropfen blanken Quecksilbers in ein isoliertes flaches Porzellanschälchen, das mit Probe IIb unelektrisch ist und durch Reibung ungewöhnlich schwer elektrisch wird, möglichst ruhig gleiten, so sind dennoch das Quecksilber und die Innenfläche der Schale mit Probe I elektrisch und zwar gleichnamig elektrisch, das erstere 4 mm, die letztere — neben ihm oder weiter entfernt davon — an 2 mm negativ*). Während nun das Quecksilber ganz ruhig vor mir steht und ich von den wiederholten Untersuchungen heiß geworden bin, werden beide Körper alsbald unelektrisch, hierauf aber mit I beide positiv, das Quecksilber $\underset{+}{3}$ und das Porzellan $\underset{+}{1}$. Folglich rührt die Elektrizität vom Quecksilber her, nicht vom Porzellan, weil ich eine Sorte ausgesucht hatte, die erst durch eine viel stärkere Reibung als jene war, welche es vom Quecksilber erfuhr, noch nicht elektrisch ward; die Unterlage wurde also durch Mitteilung von Seiten des Quecksilbers elektrisch. Einfacher scheint es ja statt der flachen Porzellanschale einen kleinen verzinnten oder verkupferten Blechteller zu nehmen; da diese sich aber mehr oder weniger leicht amalgamieren, so daß also chemische Verbindungen entstehen, von denen man sagen könnte, sie seien die Ursache der Elektrizität, obgleich gerade umgekehrt das Amalgam die Wirkung derselben ist, und eine passende Schale von blankem Eisen nicht leicht zu beschaffen war, so sah ich von einer metallenen Unterlage ganz ab. Die

*) Bei der Untersuchung des Quecksilbers mit unserm Pendel ist aber die größte Vorsicht nötig, d. h. man darf jenes nur mit einer Ecke oder der unteren Kante des Goldschaumblättchens, aber ja nicht mit der Fläche berühren, weil es sonst unfehlbar platt darauf kleben bleibt und verloren ist. Denn zwischen dem Quecksilber und dem mindestens ebenso leicht erwärmbaren Golde ist die bleibende Anziehung, selbst wenn die Elektrizität nur durch Bestrahlung hervorgebracht ward, so groß, daß sofort die größtmögliche Annäherung ihrer Atome bez. Moleküle eine chemische Verbindung, das Goldamalgam, zu entstehen beginnt.

zweite Elektrizität, die Positivität, entstand jedoch ohne alle Reibung, nämlich einfach durch seine Temperaturerhöhung, die ich selber verursachte.

Die Umwandlung der anfänglichen Negativität des Quecksilbers in Positivität läßt sich aber auch mittelst verstärkter Reibung sehr gut bewerkstelligen. Wenn man nämlich auf eine auf dem Tische stehende Voltasche Platte z. B. auf die Zinkplatte, Quecksilber aus mäßiger, d. h. höchstens 10 cm betragender Höhe träufelt, so sind beide Metalle mit IIa oder IIb negativ; sie werden aber sofort und zwar bis sehr stark positiv, sowie man Quecksilbertropfen aus großer, d. h. 15—20 cm betragender Höhe auf das Zink fallen läßt. Im ersteren Falle war der Stoß, den das Quecksilber erlitt, viel kleiner als im letzteren, mithin seine Erwärmung hier viel größer als dort. Damit aber das Quecksilber bei niedrigem Falle sicher negativ, d. h. nicht schon nach geringer Reibung positiv werde, muß das Zimmer samt jenem kühl, d. h. 12—15° und darf man auch selber nicht sehr warm sein; gleichfalls sofort positiv oder im Uebergange zur Positivität ist das Quecksilber jedoch auch, wenn man das bei einem soeben angestellten Versuche versprengte zusammenkehrt und zu einem neuen aus geringer Fallhöhe benutzt, weil dieses Material, wie sich sogar thermometrisch nachweisen läßt, viel wärmer als die Umgebung geworden ist, seine Temperatur also schon durch ein geringes Plus auf die zur Entstehung der normalen Positivität erforderliche Höhe gebracht werden kann. Wieder negativ und positiv, ja drei und mehrere Male hinter einander negativ und positiv wird das derartig erwärmte Quecksilber aber, wenn man es nach jeder Elektrizitätsumwandlung auf eine neue, in der Nähe befindliche Unterlage, eine Porzellanschale und dergl. gießt, und zwar schon bei einer Fallhöhe von nur ein paar Zentimetern; denn dann kühlt es sich mittelst des jene zuerst berührenden Teiles plötzlich etwas ab und erwärmt sich durch den Stoß der nachfolgenden Last sofort wieder, so daß wir den Zeichenwechsel abermals an kleine Nachlässe im Aufstiege der Temperatur gebunden sehen.

Kapitel XXVIII.

Ozon.

Entsteht es dadurch, daß Quecksilber von den Sonnenstrahlen elektrisiert wird, so hebt sich zugleich mit der stärkeren Ozonisierung der adhärierende Kleister in die Höhe.

Nun wird man fragen: Läßt sich denn, wenn die so absonderlichen zentrifugalen Bewegungen der Eisenfeile (und anderer leichter, nicht feuchter Körper) auf konvexer, sowie ihre nicht minder merkwürdigen zentripetalen auf konkaver Wasserfläche elektrische sind, nichts von den vielbesprochenen, für Elektrizität der Flüssigkeiten angeblich charakteristischen Wirbeln wahrnehmen? Unter Umständen so viel, daß man darüber allein ein stattliches Heft schreiben könnte.

Zu diesem Zwecke muß ich aber etwas weiter ausholen, weil an die beiden gegenläufigen Bewegungen, ja schon an das ruhige Auflegen der Metallfeile auf konvexes oder konkaves Wasser sich regelmäßig und bisweilen augenblicklich eine Erscheinung anschließt, welche die letzte Ursache ist von einer der allerwichtigsten Kraftäußerungen der Elektrizität überhaupt, nämlich von ihrer chemischen Wirkung.

Schon oft haben wir der fraglichen Erscheinung gedacht und sie ist nichts Geringeres als **das Ozon**, die gewaltige Tochter der Elektrizität. Sein Nachweis aber gelingt unter Zuhilfenahme des zusammengesetzten Mikroskopes oder wenigstens einer starken Vergrößerung der Stativlupe sehr leicht und jedenfalls mit weit größerer Bestimmtheit als vermittelst der gewöhnlichen, nur makroskopischen Methoden.

Jahrelang, nämlich von 1890 bis 1892, habe ich mich mit dem atmosphärischen Ozon, ich kann beinahe sagen Tag und Nacht, beschäftigt — Ozon und die atmosphärischen Niederschläge, das waren die Dinge, für die ich damals meine ganze Zeit hingab — und verfuhr zum Nachweise und zur Bestimmung der relativen Menge des ersteren folgendermaßen.

Auf einen Objektträger strich ich etwas von einer 40 prozentigen Lösung von chemisch reinem Jodkalium, der etwas täglich frisch gekochter Stärkekleister beigemischt war, ziemlich dünn bis ganz dünn auf und legte das Ganze hinaus vor ein Fenster, das den Wind bekam, am zweckmäßigsten auf eine weiße Unterlage (weißes Papier mit Eisen oder dergleichen beschwert), damit nahezu die erste Spur der Jodreaktion, die übrigens bei Gegenwart von wenig Wasser nicht blau, sondern rot aussieht, schon mit bloßen Augen wahrgenommen werden konnte. Glaubt man nun, daß das Präparat, nachdem es teilweise trocken geworden, das Jodkalium also wieder auskrystallisiert ist, ins rötliche zu schimmern anfängt, so wird es wieder hereingenommen, unter das Kompositum gelegt und während der Besichtigung wiederholt ein wenig behaucht, damit alles mehr in einer Ebene liege. Da zeigt sich, daß die Rötung rings um die im Hauche sich auflösenden Krystalle

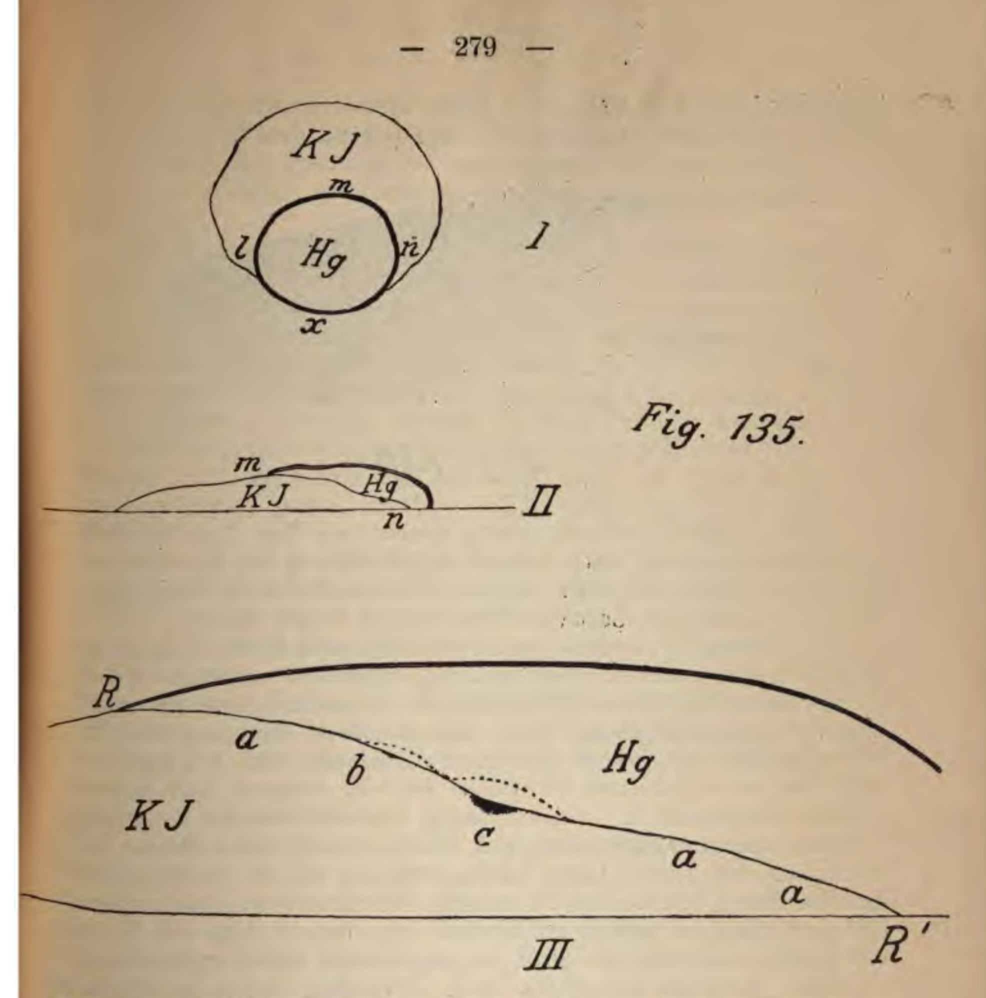
Bestrahlung, und wollen wir dies zunächst am Quecksilber, womit wir soeben zum gleichen Zwecke arbeiteten, nachweisen.

Der betreffende Versuch ist von dem Schönbein'schen, wo Quecksilber in einer Flasche mit etwas Indigolösung geschüttelt wurde, sich also wiederholt erwärmte und abkühlte, nur eine Abänderung, und zwar in der Weise, daß die Temperaturänderungen ohne mechanische Bewegung, nämlich nur durch wiederholte Unterbrechung der natürlichen Bestrahlung des Quecksilbers durch den Beobachtenden selber herbeigeführt werden. In zweiter Linie ergiebt sich dabei aber auch das Merkwürdige, **daß gleichzeitig mit der Ozonbildung auch Massenbewegung,** ein ruckweises Emporsteigen der Kleisterlösung am Quecksilber stattfindet, die dabei thätige Elektrizität also eine Art Steigerung der Adhäsion bewirkt und sich uns, während sie Ozon verschafft, zugleich als Hubkraft vorstellt.

In eine flache Porzellanschale, die, ohne isoliert zu sein, auf dem Objekttische des Präpariermikroskopes steht, lasse ich möglichst langsam 1) einen 1—2 cm großen Tropfen blanken Quecksilbers, und 2) einen etwa ebenso großen von einer mindestens 50 prozentigen Lösung Jodkaliums, der ein dicker, körnerreicher Stärkekleister beigemischt wurde, derart gleiten, daß der letztere den ersteren, wie in Figur 135 I, teilweise umfaßt und an ihm von l und n nach m hin immer höher hinauf reicht. Figur 135 II und III sollen dies von der Seite gesehen, jene fast in natürlicher, diese in etwa 8 facher Größe veranschaulichen, weil die an dem das elektrisch werdende Quecksilber berührenden Kleisterrande R R' liegenden Stärkekörner, worauf es zunächst ankommt, im Bilde nicht zu klein ausfallen dürfen.

Das Quecksilber in der Flasche und der Kleister in seinem Behältnisse haben, wie die darin stehenden Thermometer zeigen, immer ungleiche Temperatur — meist ist das erstere, oft fast einen ganzen Grad wärmer als der letztere — und diese ewige Ungleichheit der Temperaturen der Stoffe, das ist ja die nie versiegende Quelle der Elektrizität.

Zunächst schon durch das Aneinanderbringen der beiden verschieden temperierten Flüssigkeiten werden sie wie Volta's Platten durch ihre Zusammenlegung elektrisiert: Das z. B. wärmere Quecksilber kühlt sich am Kleister ab, und dieser erwärmt sich am Quecksilber; die Erwärmung schreitet, dank der so verschiedenen spezifischen Wärmen dieser beiden Körper, lange sehr ungleich fort und so ist eine nicht blos momentane, sondern anhaltende Elektrizitätsquelle gegeben; daher mache ich mich eilig davon, sowie der Kleister an das Quecksilber geflossen ist, damit sowohl die Erhöhung als auch die Erniedrigung der Temperatur ihren natürlichen Gang gehen. Denn gewöhnlich schon nach 1—2 Minuten, oft aber auch eher, sieht man unter der 15 fachen Vergrößerung (und selbstverständlich bei abgelenktem Atem) hier oder da oder an mehreren Stellen des an dem Quecksilber äußerst flach anhaftenden Kleisterrandes einen roten, dunkelroten, ja schwarzroten Fleck, der erst linienförmig war, wie bei a a a in Figur 135 III, dann ein Halbmond wird mit nach abwärts gerichtetem, immer aber verwaschenen Bogen, wie bei b und c, während der obere freie Rand des so verfärbten Kleisters immer scharf bleibt und äußerst dunkel wird. Nicht lange, und es



kommen mehr solche Stellen, die ersten werden bis zu einem gewissen Punkte immer größer, ihre Außenseite, ihr verwaschener Bogen, breitet sich allmählich wie Morgenröte um die aufgehende Sonne aus, bis nach einer halben Stunde oder schon früher, der ganze Kleister, der unmittelbar am Quecksilber liegt, dunkelrot und der übrige hellrot geworden ist. Fig. 136. Setzt man jetzt Wasser zu, so wird alles von ihm direkt erreichte Rote veilchenblau, und nimmt man ein paar von den nun sich ablösenden, so gefärbten Fetzen unter das Kompositum, so sind sie Teile von Stärkekörnern. Gleichzeitig erregt aber noch etwas sehr Schönes unsere Aufmerksamkeit: Wo nämlich die Stärke, wie bei x in Figur 135 I, sich **unter** das Quecksilber gedrängt hat, wälzt sich ein breiter hellgelber Strom von Millionen von einzeln silberweiß erscheinenden Jodkrystallchen hervor, die sämtlich in lebhafter Molekularbewegung begriffen sind, wie Infusorien- oder Samenmassen wimmeln und herrlich glänzen und glitzern. Das giebt schon einen

Vorgeschmack von dem, was wir in einem Tropfen alsbald spielend hervorbringen werden: Hier Oxydation, dort Ausscheidung eines Metalles

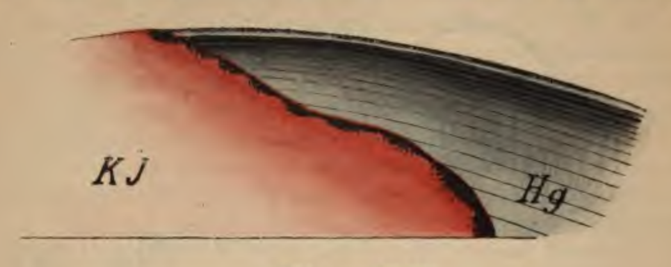


Fig. 136.

Das Jodkalium ist also zersetzt worden von dem Ozon, das durch die Elektrizität erzeugt ward, die bei der Berührung von Quecksilber und Wasser, und naturgemäß unter noch viel besserem Ausschlusse von Reibung entstand, als das beim Voltaschen Grundversuche möglich ist.

Läßt man das Präparat aber ohne Wasserzusatz stehen, so geht die Reaktion noch immer weiter fort, bis der Kleister vertrocknet. Das ist offenbar eine andere Wirkung des Ozons, die, so natürlich sie zu sein scheint, nicht genug gewürdigt werden kann. Der spontanen Fortsetzung einer Reaktion begegnen wir in der Chemie zwar außerordentlich oft; selten aber dürfte es so klar sein was der Grund für diese durchaus nicht selbstverständliche Erscheinung ist. Aeußerst kräftig oxydierend wirkt das Ozon; folglich muß dabei verhältnismäßig viel Wärme, immer wieder Wärme, neue Elektrizität und wieder Ozon erzeugt werden. Wie so mancher andere chemische Prozeß scheint auch dieser nicht kontinuierlich vor sich zu gehen; denn namentlich im Anfange der Reaktion sehen wir oft hier und da mit einem Male eine neue rote Stelle, die ungewöhnlich schnell entstanden und zu solcher Intensität gelangt sein muß. Das ging aber so zu: Als das Auge noch keinen neuen roten Punkt wahrnahm, wurde das Präparat dabei ja vom Beobachter erwärmt, und nachher, als er nicht mehr hinsah, kühlte es sich wieder ab! So viele Einwürfe ich mir auch selber mache und die Sache von einer möglichst anderen Seite anzusehen mich bemühe — immer wieder muß ich auf meine so oft ausgesprochene Behauptung zurückkommen, daß Elektrizität und Chemismus eine Art Kreisprozeß bilden, in welchem die Elektrizität stets das erste Glied ist. Meiner unmaßgeblichen Meinung nach scheint jedoch gerade der Versuch mit dem Quecksilber und dem Jodkaliumstärkekleister den Satz am sprechendsten zu beweisen, und werden wir bei denjenigen chemischen Prozessen, welche die Reihenfolge ihrer Entwicklungsstadien mikroskopisch zu studieren erlauben, immer und immer wieder beobachten, daß sie, kurz ausgedrückt lautet: Elektrizität, Ozon, Oxydation, Erwärmung — Elektrizität, Ozon u. s. w.; doch wollen wir die vollständige Serie, die wieder aus zwei, sich eben sehr of

hinter einander wiederholenden Reihen besteht, weiter unten (S. 288) bringen, nachdem noch einiges in Betreff des Ozons und der Oxydation festgestellt worden ist. Und wird der obige Versuch, wie sogleich geschehen soll, noch etwas erweitert, so dürfte er für jene Behauptung geradezu beweisend sein.

Ist es wahr, daß die Reaktion auf Ozon schon durch die erste Oxydations-, also durch die bei der Oxydation des Kali entstehende Wärme befördert wird, so muß das auch der Fall sein, wenn die einander berührenden, heterogenen Flächen, die Quecksilber- und die Kleisteroberfläche, auf andere, aber nicht zu intensive Weise erwärmt werden. Da diese Wärmewirkung nun, wie oben bemerkt wird, schon durch unsere eigenen Wärmestrahlen möglich ist, so erfolgt sie höchst wahrscheinlich sehr viel besser durch den Sonnenschein. In der That übertrifft auch, was er in dieser Hinsicht kann, jede Erwartung und das umso mehr, als schon die 15fache Lupenvergrößerung genügt, um uns das Wunder, das er verrichtet, zu offenbaren!

Nur eine sonnige Viertelstunde, und hätten wir auch erst Februar, gehört dazu, um zu sehen, wie von zwei verschiedenartigen Flüssigkeiten die schwer erwärmbare von der leicht erwärmbaren angezogen, ohne Vermittlung eines neuen Körpers und ohne jede sichtbare Hilfe in die Höhe gehoben wird, sich also vor unsern Augen das ereignet, was zweifellos einer der wichtigsten Lebenserscheinungen, die es überhaupt giebt, **dem wunderbaren Aufbaue der Pflanzen, ihrer Hauptbewegung, der Bewegung nach oben**, zu Grunde liegt.

Die Sache ist diese.

Nachdem ich im Schatten auf dem Fensterbrette alles zurecht gemacht, d. h. den Jodkaliumstärkekleister zu dem Quecksilber gethan habe, und den Eintritt der Reaktion, die ersten roten Stellen am Rande des ersteren bemerkt habe, setze ich das Mikroskop samt dem so weit vorgeschrittenen Präparate in die Sonne und beobachte jenen, z. B. l, m, n in Figur 135 I, unverwandt, namentlich aber auf der Linie, woran die Sonne am meisten stemmt, also die Höhe bez. die eine Seite seines Bogens. Ein bis zwei Minuten: Da kommt plötzlich — das erste Mal erschrickt man darüber, denn so etwas läßt sich im Schatten nie beobachten — ein ganzes, manchmal scheinbar über 5 mm langes Stück des flach aufliegenden Kleisterrandes, ohne sich aber vom Quecksilber zu entfernen, dem Auge entgegen (z. B. b oder c in Figur 135 III), wird fast augenblicklich rot, oder, wenn es schon rötlich war, zusehends röter, erhebt sich nach einigen Sekunden auch wohl noch einmal, rötet sich immer tiefer und in größerer Ausdehnung und macht ganz und gar den Eindruck, **als ob Leben in die toten Massen gekommen wäre.** Unterdessen jedoch oder bald nachher schnellt ein anderer Streifen des Kleisterrandes in die Höhe, rötet sich wieder unglaublich schnell, und so geht es bisweilen noch mehrere Male fort. Zuerst denkt man, es gähre darunter; denn das Ganze sieht bald so aus, wie wenn der Teig im

Asche geht. Der große Unterschied ist jedoch der, daß unser Kleisterrand sich, während er höher kommt, niemals wulstet, immer platt am Quecksilber hängen bleibt und ohne einzufallen oder auch nur ein wenig niederzusinken, überall mit der Nadel angestochen werden kann. Durch das entstandene, so überaus kräftig oxydierende Ozon wurde sogleich das Kali aus seiner Verbindung mit dem Jod heraus gerissen und, während das letztere abgestoßen ward und sich an das Stärkemehl hing, von dem einen Atome des zu dreien verkoppelten Sauerstoffes dauernd angezogen. Je mehr Ozon aber durch die in der Sonnenwärme zunehmende Elektrizität erzeugt ward, um so mehr nahm die Zersetzung überhand; und war der Prozeß bis zu einem gewissen Grade fortgeschritten, so erfolgte plötzlich Massenanziehung und sah man, daß der Kleister durch die immer stärker werdende Elektrizität des Quecksilbers an- und hinaufgezogen wurde, um sich sogleich auffallend viel stärker und ganz allgemein zu verfärben.

Daraus schließe ich: Die Kraft, die auf einem gewissen Punkte ihrer Thätigkeit vermehrte Anziehung großer Massen, verstärkte Adhäsion, zustande brachte, war dieselbe, welche schon vorher, als sie noch schwach erschien, Anziehung und Abstoßung allerkleinster Teilchen, der Atome bewirkte. Das Erste war, ebenso wie bei nur einigermaßen starker Einwirkung des Spirituspinsels auf einen Wassertropfen die kleinsten Fremdkörperchen darin sogleich fortgestoßen wurden (S. 141), die gegenseitige Abstoßung, die Trennung der Teile unzähliger Paare von Sauerstoffatomen; das Zweite, die Folge des sich fortsetzenden Temperaturwechsels, war aber die höhere Elektrisierung, die Umelektrisierung wiederum sehr vieler, nämlich der kleinsten von den freigewordenen Sauerstoffatomen, sodaß diese von den größeren und größten, weil dieselben noch die entgegengesetzte Elektrizität besaßen, angezogen wurden und je drei verschieden große zusammen ein Ganzes bildeten.

So stellen wir uns die Entstehung des dreiatomigen Sauerstoffes vor, der seinerseits sowohl den Chemismus auf eigene Hand fortsetzt, als auch dadurch selber zum Schöpfer neuer und immer wieder neuer Elektrizität wird. Daß aber der erste Akt elektrischer, einen chemischen Prozeß einleitender Thätigkeit, die Ozonbildung, wirklich in der angegebenen Weise vor sich gehen kann, dürfen wir aus den unzähligen Anziehungen und Abstoßungen schließen, die im Wassertropfen unter Umständen entstehen, die uns Elektrizität kaum ahnen lassen. Und in der That, wie arm wäre die Natur, wenn sie sich nicht täglich tausendfach Ozon erzeugte, und wie übel wären wir vor allem selber daran, wenn wir nicht imstande wären, die Luft, worin wir uns befinden, ganz unwillkürlich, nämlich mit jedem Atemzuge, weil er seiner Beschaffenheit nach notwendig Elektrizität und Ozon hervorbringt, zu verbessern?

Einleitung in die mikroskopische Elektrochemie.

Kapitel XXIX.

Die Feilspähne aller Metalle geben auf einem Tropfen von verdünntem Jodkaliumstärkekleister die Ozonreaktion. Genaueres über diese und die Oxydbildung. Zusammenfassung der dabei stattfindenden mikrophysikalischen Vorgänge. Die gesetzmäßigen Kreisströme (Wirbel) des Zinkoxyds und Eisenoxydhydrats in einfacher Jodkaliumlösung. Der Oxydstern. Die den elektrischen Strömen folgenden Oxydglobuliten sind fortwährend in Molekularbewegung, so daß es in den benachbarten Stromhälften zu wichtigen Interferenzen kommen muß. Rand und Höhe des mit Metallfeile bestreuten (armierten) Tropfens sind entgegengesetzt elektrisch; der letztere ist ein elektrisches Element. Schon die Moleküle und Atome sind elektrisch.

Bis hierher gekommen eröffnet sich vor uns ein weites Feld voll Arbeit und voll ungehobener Schätze, das Feld der mikroskopischen Elektrochemie, ohne deren Kenntnis die gewöhnliche nicht viel mehr bedeutet als Anatomie ohne Mikroskopie.

Nur einen kleinen Teil von diesem großen Gebiete konnte ich noch in Angriff nehmen; immerhin aber bestätigte sich wenigstens der Satz, daß die Anfangsglieder einer zusammengehörigen Reihe chemischer Erscheinungen allezeit Elektrizität und Ozon sind, und ließ sich zeigen, daß in jedem Wassertropfen, dessen Elektrizität in gewisser Weise verstärkt wird, elektrische Ströme kreisen, die in großer Menge und konstanter Wiederkehr uns ihre chemischen Wirkungen selber vor Augen führen.

Um die Verstärkung der natürlichen Elektrizität des Wassers handelt es sich. Wie das zu machen ist, wissen wir schon: Man bestreut es einfach mit frischer Metallfeile; denn daß beide dadurch stark elektrisch werden, sahen wir Seite 256 f. an den auffallenden Bewegungen, welche die letztere sogleich machte. Jetzt aber haben wir es mit den vorzugsweise im Innern eines Wassertropfens vor sich gehenden Wirkungen seiner auf diese Weise verstärkten Elektrizität zu thun, mit den feinen, in der Flüssigkeit selber ablaufenden Vorgängen, deren Anfänge — und diese bilden ja bei unserem Vorhaben immer die Hauptsache — sich nur vermittelst des Mikroskopes erkennen lassen, kurz mit den chemischen Erscheinungen; sie mußten jedoch früher, wenn nicht Verwirrung entstehen sollte, übergangen werden.

An die Untersuchungen auf Ozon knüpfen wir wieder an, sehen seine so charakteristische Einwirkung auf Jodkaliumstärke nunmehr als einen sicheren Beweis für dagewesene bez. noch vorhandene Elektrizität an und benutzen sie demnach als Elektroskop.

Zunächst kommt hierbei nicht wenig auf den Konzentrationsgrad der

Elektrizität, und erst wenn jene ungefähr 12°-prozentig ist, sind die 4—5 Sekunden, die man braucht, um aufzustreuen, unterzulegen und ins Mikroskop zu sehen nicht zu viel; indessen doch schon am Ende der nächsten Sekunde erscheint in rascher Zunahme die Färbung und wächst trotz alledem zusehends schnell sich in die eigentümliche Form aus, die wohl eine Stunde lang immer intensiver rot wird und alsbald auch die gröberen Stärketeilchen s s s s ergreift, die von den Metallspähnen aus größerer Entfernung und zwar, wie die Abbildung erkennen läßt, strahlenförmig angezogen werden. (Statt bereits vorhandene Feilspähne auf den Tropfen [mit einer kleinen Feder] zu kehren, kann man ja auch welche darauf feilen; das Letztere dauert jedoch immer 1—2 Sekunden länger als das Erstere). Also nur ungefähr zehnprozentig darf die Jodkaliumlösung sein, wenn man die Anfänge der Ozonreaktion an der Zinkfeile studieren will! Sehr viel konzentrierter aber, wenn die vorgeschrittenen Stadien jener schon nach Verlauf von 5—10 Minuten beobachtet werden sollen. Gegenwärtig sei nur nochmals betont, daß das Metall durch die Berührung mit dem kälteren Wasser blitzschnell elektrisch wird und man den Entwicklungsgang des sich unmittelbar daran schließenden chemischen Prozesses so zu sagen mit Gewalt hemmen muß, um von ihm die Entstehung der letzten Entwicklungsstadien, der intensiven Färbung des fein grießigen Stärkeschleimes (Fig. 137 B), in Ruhe zu verfolgen.

Warum trotzdem oben eine 33°- bis 35°-prozentige Jodkaliumlösung empfohlen ward, geschah, wie angedeutet, mit Rücksicht auf die anderen Metalle, die in diesem Sinne unter einander und mit dem Zink doch verglichen werden müssen. Es stellt sich nämlich sogleich heraus, daß dieselben alle (die seltenen habe ich freilich nicht untersucht) viel, ja meist sehr viel schwerer elektrisch werden als das Zink, und wollte man bei ihnen eine auch nur 15-prozentige Lösung anwenden, so könnte man wer weiß wie lange auf die Reaktion warten. Sogar in 35°-prozentiger Lösung erscheint sie beim Kupfer erst nach einer ganzen Minute und beim Eisen vergehen $1^1/_2$ Minuten. Die Hauptsache ist und bleibt jedoch: **Die blanken Feilspähne aller Metalle, selbst Gold und Platin nicht ausgenommen, geben auf einem Tropfen von verdünntem Jodkaliumstärkekleister die Ozonreaktion** und weisen durch die verschiedene Geschwindigkeit und Intensität, womit dieselbe eintritt, wenigstens im allgemeinen auf die verschiedene Fähigkeit ihrer Elektrisierung durch eine und dieselbe Ursache hin, die im höchsten Grade einfach sein muß und nur auf der unglaublichen Erwärmungs- und Abkühlungsfähigkeit der Stoffe beruhen kann.

Daß bei diesem Versuche aber mindestens gleichzeitig mit dem Ozon auch Elektrizität entsteht, läßt sich direkt nachweisen, wenn man statt der Feilspähne ein einziges, aber größeres Metallstück nimmt. Schneide ich z. B. von einem alten, etwa 0,6 mm dicken **Zinkbleche** ein Quadrat mit 15 mm Seite ab, lege es auf einen ungefähr halb so großen, in einer flachen weißen Porzellanschale befindlichen Tropfen von verdünntem Jodkaliumstärkekleister, untersuche es einige Male mit Probe IIa, als ob es eine große Voltaplatte wäre, so erhalte ich

0 1 3 1 0 1 3 0 1 3 1 0
— — — + + — — —

Indessen zeigen sich mit der Lupe meist schon nach der zweiten, Elektrizität ergebenden Probe unter dem Metallstücke auf dem Kleister ein paar oder auch schon mehrere rötlich gefärbte Stärkekörner oder Körnerreste, ähnlich wie a a a b und c in Figur 136 III; umgekehrt aber erscheinen diese Stellen unter dem Zinkbleche auch ebenso bald, wenn es nicht auf Elektrizität geprüft, also nicht periodisch wiedererwärmt ward, und ist schon bei der ersten Probe elektrisch, wenn man mit dieser 1—2 Minuten wartete. So läßt sich also hier beides, Elektrizität und Ozon, ja die erstere sogar meist eher als das letztere nachweisen.

Hierauf müssen wir uns zunächst die Reaktion, die das auf verdünnten Jodkaliumstärkekleister gestreute Zinkt hervorbringt, genauer ansehen; denn hinter der Jodstärke steckt noch etwas, das durchschimmert, namentlich wenn man das Licht nicht durchgehen, sondern auffallen läßt, und eine sehr früh auftretende Entwicklungsstufe des chemischen Prozesses bildet, den die durch die Metallteilchen hochgradig verstärkte Elektrizität des Wassers verursacht. Was das sein kann, liegt auf der Hand; denn wo es so viel Ozon und Zink giebt, muß das letztere unzweifelhaft oxydiert werden, und zwar geschieht dies augenblicklich nach Bildung des ersteren, also nahezu gleichzeitig mit der Ausstoßung des Jods aus dem Jodkalium. Aber nicht blos, das Oxyd, sondern auch und zwar vor allen Dingen wie es erscheint, wird unsere Wißbegier in nicht geringem Grade erregen. Damit nun diese Beobachtung durch keine Verfärbung der Umgegend getrübt werde, nehmen wir statt der mit Stärkekleister vermischten Jodkaliumlösung einen einfachen Tropfen destillierten Wassers und kehren oder reiben etwas Zinkfeile darauf; denn das Jodkalium und den Kleister darin brauchten wir ja nur zum Nachweise bez. zur Bestätigung der fundamentalen Thatsache, daß Metall, zumal im fein verteilten Zustande, mit Wasser in Berührung gebracht, augenblicklich elektrisch wird.

Im mäßig warmen Zimmer fast sofort, im kalten aber erst nach Minuten sieht man mit einer zunächst nur schwachen Vergrößerung des Kompositums von einzelnen der am Tropfenrande liegenden Spähnen zwei oder mehrere im Dunkelfelde weißglänzende kleine Büschel ausgehen, die aus feinen bis äußerst feinen Punkten bestehen, häufig wie Kometenschweife schmal und sehr dichtkörnig beginnen, aber breit und doch verwaschen endigen (Fig. 138). Das eine Büschel, das kürzere, geht gewöhnlich geradenwegs bis an den äußersten Rand des Tropfens; das andere, das längere jedoch zeigt häufig nach der allerdings fernen Mitte desselben, und wenn man hierauf den Kranz von Spähnen genauer mustert, so findet sich, daß unterdessen sehr viele ein paar oder mehr ähnliche Schweife bekommen haben, an allen Metallstücken jedoch wenigstens etwas von diesen weißen zarten Massen hängt. Ja auch von den einzelnen Spähnen, die, meist


Fig. 138.

infolge von Fremdkörpern auf dem Wasser, in einiger Entfernung vom Rande, wo es schon hoch gewölbt ist, liegen geblieben sind, geht ein solcher Schwarm von weißen Körnchen aus, zunächst aber senkrecht in die Tiefe und dann erst, vorausgesetzt, daß das Ganze nicht erschüttert und dadurch gestört worden ist, deutlich nach der Tropfenmitte hin.

Gelang es nun gleich auf den ersten Blick, nachdem das Präparat untergeschoben wurde, einen Spahn mit einem Schweife zu sehen, so muß möglichst schnell, damit man seine Weiterentwicklung beobachten kann, stärker, d. h. bis mindestens 200 Mal vergrößert werden, und nun zeigt sich, daß der Schweif von seiner Wurzel her wächst, und die im Dunkelfelde mehr oder weniger silbern glänzenden, dicht über und unter einander liegenden Punkte **alle in Bewegung sind, nämlich sowohl geradlinig von ihm fortziehen**, indem sie immer nur aus der betr. Stelle des Feilspahnes hervorzuquellen scheinen, als auch — doch ist, um das sehen zu können, eine 300—400fache Vergrößerung nötig — **sämtlich Molekularbewegungen machen**, wobei fast jeden Augenblick ein Körperchen verschwindet, plötzlich ein anderes glänzend auftaucht und kaum zwei ihre gegenseitige Lage eine halbe Sekunde behalten. Leider dauert das alles nicht lange und sehr bald liegen die meisten der Partikelchen, nachdem sie größer geworden sind, dicht neben einander regungslos am Boden. Sie sind krystallinisches Zinkoxyd, gleich dem käuflichen, 0,1—0,3 mm groß und lösen sich, wenn das Wasser verdunstet und das Metall entfernt worden ist, in verdünnter Schwefelsäure sofort auf.

Wie die Ozonbildung in der am Quecksilber adhärierenden Stärkeschleimschicht läßt sich aber auch die Oxydation, das Hervorströmen immer neuer Oxydkrystallchen, durch Sonnenschein beschleunigen bez. wieder hervorrufen, so daß also die zum Stillstande gekommenen Bewegungen langsam wieder beginnen; denn die strahlende Wärme elektrisiert alles von neuem — eine Thatsache, die Hand in Hand geht mit den Untersuchungen von S. Exner, wonach die Lebhaftigkeit der Brownschen Bewegung sich durch strahlende Wärme bis zu einem gewissen Grade auffallend steigert. Hingegen läßt die Oxydation sehr lange auf sich warten und tritt nur ganz beschränkt auf, wenn man die Zinkfeile auf einen Tropfen warmen Wassers streut; daraus geht hervor, daß die Elektrisierung des Metalles am besten eingeleitet wird durch die Abkühlung, welche es unter gewöhnlichen Umständen stets auf ausgegossenem Wasser erleidet, und erst, nachdem auf die verschiedenen Abkühlungen ebenso viele durch die Elektrizität selber hervorgebrachte Erwärmungen erfolgten und Wärmegleichgewicht eintrat, kann plötzliche Erwärmung den Prozeß wieder beleben. So liegen, wenn das Wasser verdunstet ist, große Mengen schneeweißen Oxyds in weitem Umfange um jedes Häufchen Zinkspähne, die den Tropfenrand bekränzten — das Präparat, wozu wir sonst Feuer und Tiegel brauchen, hat uns die Elektrizität mit Hilfe des Ozons, ohne daß mehr als ein paar Handgriffe nötig waren, auf das Objektglas gezaubert.

Damit aber bei dem Vorgange, der für sehr viele andere typisch ist,

bekommen kann? Es wird von ihm abgestoßen, und unter Umständen werden wir dies in einer Vollkommenheit sehen (S. 291), die niemand ahnen konnte. Die Verbindung des einen Atomes von dem aktiven Sauerstoffe mit dem von ihm angezogenen und losgerissenen Zinkatome beruht sicherlich darauf, daß diese beiden Atome entgegengesetzt elektrisch waren; da aber ihre Vereinigung (bleibende Anziehung) in unmittelbarer Nähe des verhältnismäßig ungeheuer stark elektrischen Metallstückes geschieht, so müssen die neuen Körper, die Globuliten und Krystallchen, mit ihm gleichnamig elektrisch, also von ihm abgestoßen werden.

Auch bei der Ozonreaktion um das metallische Zink fehlt nicht die Wirkung der Abstoßung seiten des letzteren, ja sie ist nächst der Färbung das Auffallendste an dem ganzen Bilde. Der mikroskopisch feine grießige Stärkeschleim nämlich, den diejenigen Körner entlassen, welche, wenn die Stärke beim Kochen gerührt wurde, zersprangen, und der überall in der durch reichlichen Zusatz von Jodkaliumlösung entstehenden Flüssigkeit sich in nicht zu großer Menge befindet, wenn die beiden Bestandteile der letzteren gut mit einander vermischt werden, und die gröbsten Griesteilchen sich, wie schon bemerkt, im Laufe einiger Stunden setzen konnten — der so erhaltene feinste Stärkegries wird nämlich von dem elektrisch erregten Zink augenblicklich mehr oder weniger abgestoßen; mehr, wenn das Metallstückchen so günstig fiel, daß die entstehenden Temperaturänderungen möglichst groß wurden, und weniger, wenn das Gegenteil der Fall war. Immer und überall, wo nicht gerade ganz gebliebene Stärkekörner dicht neben oder unter dem Zinkspahne liegen und wenn in der Stärkekleisterlösung nicht allzu viel Jodkalium enthalten ist, sieht man nach wenigen Minuten um das Metall einen halben bis ganzen, scharf ausgeprägten und schließlich höchst dunkelroten Kreisbogen von jenem feinen Grieße, der sich daselbst aufs äußerste verdichtet hat und hier ganz offenbar entsprechend der Elektrosphäre des genau im Zentrum liegenden Zinkteilchens hingeworfen, hingedrückt, hingeschoben worden ist (s. Fig. 137 B). War die Bahn frei, so ist der Radius eines solchen mehr oder weniger vollkommenen Kreises oft an 10 mm lang; lagen aber andere Spähne, die ja auch elektrisch geworden sind und ihre Nachbarschaft beeinflussen, in der Nähe, so sinkt die, wie wir soeben sahen, häufig sehr imposante Größe des Hofes zu einem oft nur ein paar Zehntel Mikromillimeter breiten Streifen um das Metall herab. Dafür jedoch wurde der gerötete Gries auf diese kurze Entfernung vom Metalle mit solcher Kraft abgestoßen, daß der Raum vollkommen leer, wasserhell und gänzlich rein gefegt ist, während in den zehn- und mehrmal größeren Höfen immer viel herumliegt — wahrscheinlich die gegen das Ende, wo die Elektrizität nur noch schwach war, nicht weiter fortgebrachten kleinen Teilchen. Wer diese roten Höfe nur ein einziges Mal beobachtet und sich in das Wesen der ganzen Reaktion vertieft hat, wird nicht zweifeln, daß obige Auslegung richtig ist. Gerade die zarten, oft bis 0,1 mm kleinen Schleimflöckchen, die selbstredend viel leichter sind als die Oxydglobuliten, vermögen uns die Wirkung der Abstoßung trotz der Kleinheit der Verhältnisse klar zu zeigen, weil die Grenze, bis zu welcher die Aufräumung reicht, eine so wohl aus-

gesprochene Bogenlinie wie bei der idealsten Elektrosphäre ist. (Vergl. auch S. 144.)

So sehen wir also außer der chemischen auch die physikalische, die im höchsten Grade, und die viel weniger feine Wirkung der Elektrizität auf einer Stelle, die meist kaum halb so groß wie ein Blutkörperchen ist, und werden dabei unmittelbarer als anderswo inne, daß das, was auf einem so kleinen Raume ungestört, weil immer mit dem gleichen Erfolge, zusammenwirkt, unmöglich zweierlei sein kann.

Nimmt man nun eine mäßig starke, d. h. etwa 30prozentige Jodkaliumlösung ohne allen Zusatz von Kleister oder etwas anderem, und bestreut einen Tropfen davon mit Zinkfeile, so überrascht es in hohem Grade zu sehen, daß jetzt besonders die nach innen gerichteten Oxydschweife sich zahlreicher und namentlich viel großartiger entwickeln.

Von jeder Gruppe der am Rande des Tropfens liegenden Metallspähne geht in der Tiefe ein verhältnismäßig breit beginnender, im Dunkelfelde weißlicher Streifen von Oxyd-Globuliten und Krystallchen aus, der keilförmig sich mehr und mehr verlängert, bis er genau den Mittelpunkt des Tropfens erreicht hat. Indem nun sehr viele, 15, 20 und mehr solche Streifen von dem mit Feilspähnen besetzten Rande her denselben Weg nehmen, bekommt das Ganze, wenn es fertig ist, die Figur eines riesigen Sternes, dessen Strahlen von innen nach außen immer breiter werden; indessen ist es beim Zink nicht ganz leicht, die Verlängerung eines der Strahlen dieses Sternes bis zur Mitte zu verfolgen, weil die Teilchen, woraus ein jeder besteht, nicht sehr dicht nebeneinander liegen, genauer gesagt, dahin ziehen oder wandern. Diese zentripetale Bewegung ist aber nur der Anfang von unzähligen, bandartig verschmälerten, dafür jedoch lang ausgezogenen Kreisströmen oder Wirbeln; denn der in der Mitte des Tropfens angelangte Oxydschwarm ox ox (Fig. 139)

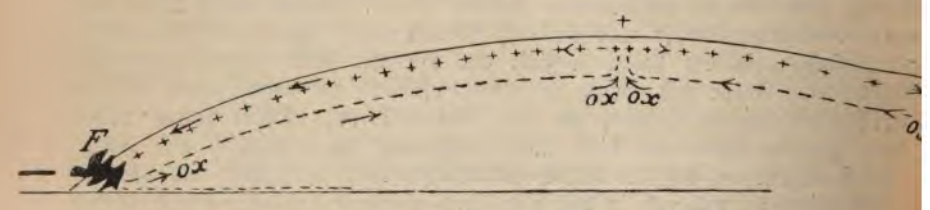


Fig. 139.

wird, nachdem er daselbst wie ein Quell, senkrecht aufgestiegen ist, wieder rückläufig, also zentrifugal, kommt wieder heran bis an die Feilspähne F, biegt hier nach abwärts um, geht von neuem nach der Mitte u. s. f., bis das Wasser eingetrocknet oder doch zu seicht geworden ist.

Allein wie im Großen hängt auch im Kleinen das Zinkoxyd teilweise

sehr fest an der Fläche, worauf es entsteht; denn die unmittelbar unter der Oberfläche der wässrigen Lösung hervorgekommenen Teilchen schieben sich außerordentlich dicht zusammen und bilden daselbst eine förmliche Haut um den Zinkspahn oder die Zinkspahngruppe. Infolgedessen geht sehr viel von dem Oxyd im Wassertropfen für seine Teilnahme an der Schweif- oder Strahlenbildung verloren, und darum werden die Kreisströme bei Anwendung dieses Metalles nur schwach sichtbar.

Das Oxyd aber, das an Eisenfeilspähnen auf einem Jodkaliumwassertropfen mindestens ebenso leicht wie jenes an der Zinkfeile entsteht, bleibt nur zu einem kleinen Teile an seiner Unterlage hängen, und so kann vom Eisenoxydhydrat ein ungleich größerer Teil als vom Zinkoxyd zu Strahlen ausgezogen, in Umlauf gesetzt werden und das großartige Bild von äußerst regelmäßig bewegten, allenthalben vom Tropfenrande zur Tropfenmitte und von dieser zu jener hin und her gehenden Oxydglobuliten, der schöne **Oxydstern** entstehen, den Figur 140, wiewohl nur andeutungsweise wiedergiebt. Schon viel Merkwürdiges ist uns bei der Untersuchung eines Tropfens auf und mittelst Elektrizität begegnet; dies aber übertrifft alles und bietet die so oft beobachtete Eigentümlichkeit der Elektrizität in gestreckten Wirbeln oder in Strömen, die in sich zurücklaufen, aufzutreten, so überzeugend und als etwas so Zweifelloses dar, daß man nicht mehr umhin kann dieselben **zu den wesentlichen, zu den charakteristischen Eigenschaften** unserer Weltkraft, wie man wohl schließlich sagen muß, zu rechnen.



Fig 140.

So hat uns die mikroskopische Beobachtung zahlreicher elektrischer Vorgänge im armierten Tropfen zu einem Schlusse geführt, der vielleicht mit demjenigen in Uebereinstimmung gebracht werden kann, zu welchem mehrere Physiker, Hankel an der Spitze, auf theoretischem Wege schon lange gekommen sind, nämlich daß die elektrischen Erscheinungen in Wirbeln des Aethers bestünden. Zwar hat man hiervon seit Jahren nichts mehr gehört; aber in anbetracht der beschriebenen Ströme und der andern Bewegungen im armierten Tropfen verdienen die Ausführungen jener Gelehrten erneute Beachtung. Denn jetzt scheint die Möglichkeit vorhanden, sich von der unmittelbaren, also ohne Zuhilfenahme einer metallenen Leitung

erfolgenden Ausbreitung der Elektrizität auf kleinere und größere Entfernungen eine bessere Vorstellung als bisher zu machen.

Wissen wir nämlich, was auf dem Wege von einer Elektrizitätsquelle bis zur Grenze ihrer Wirkung in die Ferne geschieht, so dürfen wir bei der großen Uebereinstimmung der Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen, wo immer sie uns auch entgegentreten, annehmen, daß der unter dem Mikroskope wahrnehmbare Vorgang ebenso oder doch mehr oder weniger ähnlich im Großen, wo es sich um Kilometer ohne Leitung, wie im Kleinen, wo es sich meist nur um Tausendstel eines Millimeters handelt, verlaufe. Mit anderen Worten: Die Anziehung und Abstoßung, die wir hier im Jodkaliumtropfen sehen, giebt ein übersichtliches Bild von diesen beiden fundamentalen Bewegungen, weil sie zwecks einer sicheren Beobachtung nicht zu schnell erfolgen. Da nun die elektrischen Bewegungsvorgänge im Kleinen und im Kleinsten sich im Großen nachweislich wiederholen — die großen Inseln von Feilspähnen auf ebenem Wasser erweisen sich nicht nur als Ganzes, sondern auch in ihren kleinen und immer kleiner werdenden Teilen doppelelektrisch —, so wird die theoretische Entwicklung der Anziehungs- und Abstoßungsthätigkeit zwischen den Molekülen der einzelnen Oxydkrystalle, und zwischen den Atomen dieser Moleküle sich zunächst an das zu halten haben, was davon noch unter dem Mikroskope zu sehen ist, wenn dabei eine so gut wie möglich begründete Vorstellung von der Entstehung der beiden Hauptäußerungen der Elektrizität gewonnen werden soll.

Von jedem Atome, jedem Moleküle und jedem Körper gehen — das ist der Weisheit letzter Schluß — infolge der unaufhörlichen Temperaturänderungen, wie beim Kampfer auf dem Wasser, allezeit strahlenartig angeordnete Kreisströme aus, wodurch die Nachbarschaft und sie selber in Bewegung gesetzt, also von neuem Temperaturänderungen, wieder Bewegungen, abermals gesteigerte Wärme entstehen u. s. w., bis schließlich Licht erzeugt werden kann. Wie wenig aber dazu gehört durch Elektrizität etwas Licht hervorzubringen, sind wir erst seit Kurzem so glücklich gelernt zu haben, nämlich durch die Photographieen von „Ausstrahlungen der menschlichen Hand": Die Finger lagen viele Minuten auf der lichtempfindlichen Glasfläche, machten sie also unbedingt elektrisch, und so haben wir das Vergnügen die von ihnen ausgehenden elektrischen Wirbel in der so oft beschriebenen Form von Strahlen, die durchaus nichts geheimnisvolles an sich haben, im wohlfixierten Bilde zu erblicken.

Nicht alles aber vermögen die Wirbelstrahlen allein. Beim Hin- und Hergehen der Oxyde im Tropfen sehen wir, wie schon oben (S. 287) hervorgehoben wurde, noch etwas anderes, nämlich, daß sie außer der Vor- bez. Rückwärtsbewegung **fortwährend Molekularbewegungen** machen: Unausgesetzt gehen diese kleinen Teilchen ein wenig und zwar in manchen Fällen keineswegs langsam, hin und her, auf und ab, bald hierhin bald dahin, so daß der Gesamteindruck bei 200—300facher Vergrößerung ein **Flimmern** oder **Wimmeln** ist; und wenn auch der Oxydschwarm später, nachdem viele Globuliten krystallinische Aggregate wurden, und zu Boden sanken, dünner geworden ist, so

vermißt man dennoch nicht die Molekularbewegungen, die letzten Kraftäußerungen, die wir unter dem gewöhnlichen Mikroskope noch sehen können. In jedem dieser elektrischen Ströme finden also, während er hin und her geht, **ähnlich wie beim Lichte, auch kleine mehr oder weniger wellenförmige Bewegungen statt**, die, nach dem unregelmäßigen Gewimmel der Globuliten zu urteilen, höchst wahrscheinlich in sehr vielen Ebenen, größtenteils aber senkrecht zur Stromrichtung erfolgen, und bekommen wir davon nur dann etwas zu Gesicht, wenn gerade leicht bewegliche Gegenstände von diesen verschiedenen kleinen Stößen getroffen werden. Oder man kann sich die Sache auch so denken, daß die auf der großen Reise begriffenen Körperchen durch die von ihnen selber ausgehenden kleinen Kreisströme, wie die Kampferbröckelchen, hin und her, auf und ab bewegt werden. Außer den großen schon mit 250facher Vergrößerung wahrnehmbaren festen Teilchen giebt es aber noch massenhaft solche, die man erst bei 500 oder 600facher Vergrößerung erkennen kann u. s. f., und diese werden, in den Hauptstrom geraten, sich ganz ebenso verhalten, so daß die Vorgänge der Hauptsache nach dieselben bleiben.

Sind nun zwei oder mehrere große gegenläufige, dicht aneinander vorbei gehende Bewegungen gegeben, die selber aus lauter kleinen zu diesen in ihrer Richtung mehr oder weniger senkrecht erfolgenden, wellenartigen Stößen zusammengesetzt sind, so müssen, falls man sich die Verhältnisse klein genug und die Nähe zweier oder mehrerer paralleler Langströme groß genug gedacht hat, auf zwei oder mehreren benachbarten Bahnen folgenschwere Interferenzen, Verdichtungen, Verdünnungen, Temperatur- und Druckänderungen des umgebenden Mediums, also Bewegungsimpulse entstehen, aus denen, je nach der Voraussetzung, Anziehung oder Abstoßung und in ungezwungenerer Weise als das bisher geschehen konnte, ableitbar sein dürften.

Endlich erscheint, was wir positiv und negativ nennen, erklärbar durch die bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Gangart der soeben genannten, von den Kreisströmen ausgehenden, in ihrer Anordnung den Borsten einer Flaschenbürste nicht unähnlichen kleinen Wellen, und zwar einfach derart, daß dieselben sich gegenseitig mehr oder weniger oder auch ganz vernichten, und würde die Abstoßung gleichnamig elektrischer Körper wieder auf Bildung von stehenden Wellen dieser Gattung, hervorgebracht durch Superposition je zweier Wellenreihen gleicher Amplitude und Schwingungsdauer bei entgegengesetzter Fortpflanzungsrichtung, zurückführbar sein.

Sehr fein, ja wahrscheinlich nicht weniger fein wie die Aetherschwingungen des Lichtes, sind diese im Effekte weltbekannten Dinge jedenfalls, da sie zweifellos auch im Reiche des unsichtbar Kleinen walten.

Wer unter der Lupe oder unter dem Mikroskope zum ersten Male die in wenigen Minuten vollendete Entwicklung des grauweißen Oxydsternes in dem mit Eisenfeile bestreuten konvexen Tropfen einer stärkeren Jodkaliumlösung, wer die von allen Seiten und unaufhaltsam in schnurgeraden

Zügen nach der Tropfenmitte glitzernd dahin wandernden Scharen f
sich schließlich in der letzteren anhäufenden Teilchen von Eisenhydroxyd
der fragt sofort, warum diese Tausende und Abertausende von Kryst
und Globuliten wie auf Kommando unfehlbar und ohne sich gegenseiti
ihren Wegen abzulenken, alle auf eine Stelle losgehen, die nichts wei
sich zu haben scheint, als daß fast unmittelbar und mathematisch gena
ihr der Gipfel des Wasserberges liegt.

Zunächst geben wir dem Jodkaliumtropfen, um zu sehen, ob
Gestalt von Einfluß ist, eine ausgesprochen längliche Form und be
ihn ebenso wie den halbkugeligen. Da treffen die von der Eisenfeil
nach wie vor an den Tropfenrand gegangen ist, herkommenden Oxydst
ganz anders, nämlich in einer geraden Linie zusammen, die genau üb
Längsaxe des Tropfens liegt (Fig. 141), und deren Endpunkte ebenso
von der gegenüber befindlichen Partie des Tr
randes entfernt sind, wie alle andern Punkt
Geraden von ihrem Gegenüber des letzteren.
Unterschied ist nur der, daß der Sammelplatz de
und aufwärts wandernden Oxyde nicht der M
punkt, sondern die Mittellinie der Tropfe
ist Es muß also beim länglichen Tropfen
vorhanden sein, was in der Sammelstelle der
sich ebenso verhält wie oben im Mittelpunkt
kreisrunden oder nahezu kreisrunden Tropfen
dem Objektglase, und das hängt mit der For
Tropfenhöhe zusammen: Bei dem ersteren ist s
stumpfer Kamm, bei dem letzteren aber eine st
Spitze. Auf das Vollkommenste Hand in Han
der Form der Wasseroberfläche gehen nun, wie
Seite 257 bei den Erscheinungen an ihrem Ran
nachdem sie daselbst konvex oder konkav oder größtenteils eben ist, umstä
auseinander gesetzt werden mußte, ihre Temperaturverhältnisse, und
größtmögliche Gegensatz zwischen der Temperatur bez. in
Veränderlichkeit der Temperatur zweier Teile des Trop
findet sich allezeit an seinem Rande und auf seiner Höhe, gl
viel ob dieser dieselbe Punkt- oder Linienform hat. Ist also
bei unserm konvexen, am Rande Eisenfeile tragenden Jodkaliumtropfen,
gegeben, das ihn immer mehr oder immer von neuem erwärmt, so mu
Temperaturhöhe, weil das Wasser daselbst am tiefsten ist, in ihrer E
mung dem Rande gegenüber zurückbleiben und der Temperaturunter
zwischen hier und dort bis zur Verflachung des Tropfens (durch seine
dunstung) anhalten. Der Rand des Tropfens verhält sich also zu
Mitte wie bei dem Voltaschen Grundversuche das Zink zum Kupfer,
werden die durch die verschiedene Erwärmung der so sehr verschiede
wärmbaren beiden Tropfenteile erregten Elektrizitäten ebenso ungleich
sein wie die Elektrizitäten dieser beiden, bei gewöhnlicher Bestrahlung s
gleich erwärmbaren Metalle. Da wir nun sehen, daß die Geschwindi



Fig. 141.

womit die Oxyde von der Gegend des Randes nach jener der Mitte hinwandern, sich eher vermehrt als vermindert, dies aber sich aus ihrer ursprünglichen Abstoßung von den Metallspähnen nicht erklären läßt, so folgt daraus, daß die Oxydmassen, nachdem sie vom Rande größtenteils nach einwärts, also zentripetal abgestoßen worden sind, nach dem Mittelpunkte oder der Mittellinie des Tropfens hin gezogen werden, daß also seine Mitte und sein Rand thatsächlich entgegengesetzt elektrisch sind.

Hoch oben in der Mitte angelangt gehen die Rostkörperchen nun, wie wir bereits beim Zinkoxyd (S. 211 Fig. 139) sahen und der fleißige Gebrauch der Mikrometerschraube hier abermals lehrt, ein gutes Stück senkrecht in die Höhe, und thun sie das auch, falls sie ihre Züge nur auf der einen Hälfte des Tropfens entwickeln konnten, wenn nämlich die andere Hälfte desselben ohne Eisenfeile gelassen worden war. Ist also im Dunkelfelde bei etwa 200facher Vergrößerung ein Krystall oder ein Globulit bis unmittelbar neben die senkrechte Achse des Tropfens verfolgt worden, so verliert man ihn plötzlich aus dem Auge, findet ihn indessen sogleich wieder, wenn das Objektiv im selben Augenblicke etwas und zwar mehr als es beim gewöhnlichen Suchen nötig ist, gehoben wird; zaudert man aber ein paar Augenblicke, so ist er meist schon wer weiß wo und mit Sicherheit kaum wieder zu erkennen. Denn am Ende seines senkrechten Aufstieges biegt er sofort seitlich ab und zwar über demselben Schwarme, mit welchem er ankam, geht flimmernd und streng radiatim weiter bis er in der Nähe der Feilspähne angekommen ist. Hier aber sinkt er plötzlich, so daß man unverzüglich mehr als es die Abschüssigkeit des Tropfenrandes allein erfordert, niederschrauben muß und beginnt auf diesem tiefen Horizonte meist ohne Aufenthalt einen neuen ganz ebensolchen erst ein- und aufwärts und in der Tropfenmitte nach plötzlichem Aufstiege wieder nach abwärts gerichteten Lauf wie zuerst. So geht es lange weiter, wenn auch allmählich immer mehr Krystalle zu Boden sinken, weil sich vielfach einer an den andern hing und die beständig wachsenden Gruppen zu schwer wurden.

Ebenso also, wie die in tief gelegenen Bahnen wandernden Oxyde von dem oberen Teile der Tropfenmitte angezogen werden, erleiden sie am Anfange ihrer auf höherem Niveau vor sich gehenden Rückreise Abstoßung: Sie haben daselbst in der niedrigeren Temperatur, wie die von der Lampe zurückgezogenen Platten (S. 40 ff.) ihr Zeichen gewechselt, werden von der gleichnamigen Elektrizität dieser Gegend abgestoßen und hierauf, je weiter abwärts sie gelangen um so mehr, von dem Tropfenrande samt seinen Metallspähnen angezogen, weil diese und jene ja nun ungleichnamig elektrisch sind. Oben auf der Höhe des Tropfens geschieht also etwas Aehnliches wie beim Kampfer, der im Stärkewasser am Rande lag (S. 248 Fig. 120); und unten, nahe dem Rande des Jodkaliumtropfens wiederholt sich der Vorgang von oben in umgekehrter Richtung.

Nehmen wir an, der Rand des mit Eisenfeile bestreuten Jodkaliumtropfens sei negativ, so ist seine Mitte positiv; sofort beginnt da, wo die beabsichtigte Elektrizitätsverstärkung am bedeutendsten ist, nämlich um die von der Flüssigkeitsoberfläche benetzten Spitzen und Kanten, Ozonbildung,

darauf erscheinen zentripetale negative und zentrifugale positive Ströme, die sich uns durch die Mitnahme der von dem Ozon erzeugten Zinkoxydglobuliten zu erkennen geben, und vor uns, unter dem Mikroskope arbeitet — ein galvanisches, ein elektrisches Element.

In der That, es ist außerordentlich einfach dieses Element; und doch giebt es ein noch viel einfacheres, wenn auch entsprechend schwächeres — es ist der gewöhnliche Wassertropfen!

Diese Behauptung wird den nicht mehr befremden, der es über sich gewann all den vielen, auf den ersten Blick oft recht sonderbaren und weil es in der Natur der Sache liegt, in einander übergehenden Erscheinungen, Beobachtungen, Versuchen, Schlüssen und Andeutungen zu folgen; der Beweis dafür paßt aber erst hierher: In jedem gewöhnlichen Wassertropfen, den man auf den Objektträger setzt, bewegen sich sehr kleine aus Quarz u. dergl. bestehende, nur im äußerst schräg beleuchteten Dunkelfelde sichtbare, dann aber hell glänzende Fremdkörperchen in derselben Weise wie die Oxyde in dem mit Metall bestreuten Jodkaliumtropfen; unten gehen sie nach der Tropfenmitte, da angelangt steigen sie in die Höhe und von hier kommen sie oberhalb der zentripetal wandernden zum Rande zurück, um diese Reise unausgesetzt zu wiederholen. Das geschieht zwar langsam und manchmal so unmerklich, daß das Mikrometer zu Hilfe genommen werden muß; sieht man aber länger als einige Sekunden zu, so werden die Bewegungen entschieden schneller: denn der Tropfen und zumal sein Rand wurden durch die ungewöhnlich starke Erwärmung rasch stärker elektrisch. Dabei erscheint es wissenswert bis wie nahe an den äußersten Rand, z. B. eines Zuckerwassertropfens, die im Dunkelfelde so hell glänzenden anorganischen Fremdkörper dieser Lösung sich, bevor sie ihren Rückweg nach der Mitte antreten, heranbewegen, was leicht entschieden werden kann, wenn der flüssige Berg nicht steil ansteigt und sich von der Erschütterung beim Auflegen auf den Objektträger beruhigt hat; denn dann erkennt man das zentripetale und zentrifugale Wandern sofort. Die kleinsten, die 0,15 bis 0,1 mm großen Globuliten sind es, die am allerweitesten hinaus nach dem Rande gezogen werden, nämlich bis sie von ihm blos ungefähr 4 mm, mithin so weit entfernt sind, daß in dem Zwischenraume nur ein halbes rotes Blutkörperchen liegen könnte. Hier schwebt der leuchtende Punkt meist über eine Minute, aber nicht regungslos, sondern er macht, wenn auch nur schwache Molekularbewegungen, um hierauf, und zwar in meßbar größerer Tiefe, sich wieder nach der Tropfenmitte zu begeben. Die wesentlich größeren Fremdkörper aber kommen dem Rande viel weniger nahe, bleiben von ihm 10 mm oder noch mehr entfernt und wenden sich schon, nachdem sie nur ein paar Sekunden oder sogar kaum eine auf derselben Stelle geblieben sind, zurück zur Mitte. Der äußerste Tropfenrand zieht die kleinsten Fremdkörper jedoch nicht blos darum mehr an als die großen, weil diese schwerer als jene sind, sondern auch, weil jeder der hier in Betracht kommenden Tropfen eine Lösung ist, also eine Flüssigkeit, die am Rande sofort und fortgesetzt konzentrierter, also dicklicher wird, sodaß die Bewegung großer Fremdkörper nach außen hin viel eher, bez. viel weiter vom eigentlichen Rande entfernt aufhören muß wie die der kleinen.

So liefert ein Wassertropfen, wo immer er auch hinfällt, Elektrizität, und mit dieser Kraft empfängt alles, was Leben hat, einen großen Teil des Segens, den uns eine der allergewöhnlichsten Naturerscheinungen freiwillig spendet.

Auch wenn sie konkave Oberfläche hat, zeigt Jodkaliumlösung, mit Eisenfeile bestreut, interessante Erscheinungen.

Dazu müssen wir aber wieder das Ringglas haben, und auch dann noch ist es schwer gute Beobachtungen zu machen, weil die ausgehöhlte, die hängende Wasserfläche unter dem Kompositum, das unbedingt erforderlich ist, viel leichter zittert als die wie ein Gewölbe auf einer Ringmauer stehende, mithin die mit Oxyd beladenen Ströme durch die Schwankungen, die der Beobachtende unwillkürlich verursacht, hier mehr als anderswo gestört und die Spuren, welche die weißen Fremdkörperchen hinterlassen, verändert und verwischt werden. Hat man nun um diesen Uebelstand möglichst zu vermeiden, das Ringglas kaum halb gefüllt und die Eisenfeile darauf gebracht, so geht dieselbe nicht nur augenblicklich nach der Mitte, sondern jedes Spähnchen sendet auch sofort einen Oxydschweif nach ab- und einwärts (Fig. 142),

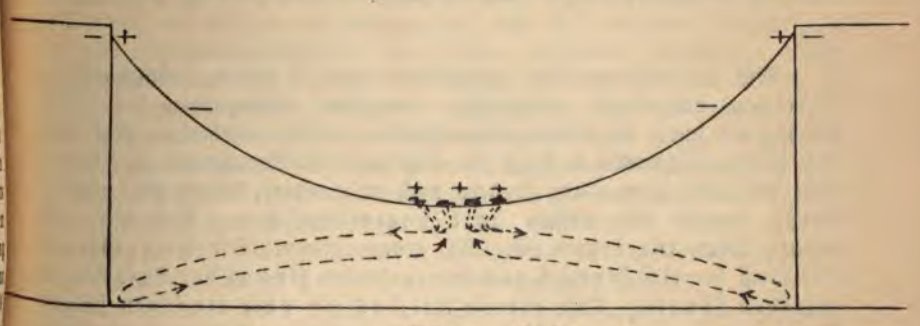


Fig. 142.

der sich, falls die Lösung nicht zu dünn ist, sehr schnell verlängert, viele der einzelnen verschwinden plötzlich, um alsbald blinkend wieder zu erscheinen, und demzufolge sind alle in Molekularbewegung begriffen; nahe der oberen Mitte des Wassers gekommen, wendet sich der Oxydschwarm aber in scharfem Winkel zurück nach außen, nach der Gefäßwand, sinkt, je näher ihr kommt, immer tiefer, biegt plötzlich nach einwärts um, erhebt sich dabei wieder, erreicht die Mitte und geht, oben verbleibend, wieder nach dem Rande.

Also auch hier entstehen Kreisströme mit eigenen Undulationen, nur sind die ersteren nicht so deutlich wie im konvexen Wasser, weil sie die von oben nahezu senkrecht und fortgesetzt herunter kommenden Erstlingsströme kreuzen müssen. Oben und ziemlich dicht unter der Oberfläche wird also im Mittelpunkte der konkaven Wasserfläche ein Anziehungszentrum liegen, und dieses ist das Gegenstück zu dem alle Fremdkörper ja so sehr stark abstoßenden, hoch hinaufgehenden Wasserrande. Ist der letztere, der sich an der Ge-

fäßwand am stärksten erwärmende und adhärierende Teil z. B. positiv, so wird weiter abwärts, wo die Erwärmung geringer sein muß, Negativität und ganz unten in der Mitte, wo alles am kältesten bleibt, wieder Positivität anzutreffen sein; denn die Temperaturabnahme vom Rande bis zur Mitte ist offenbar zu groß, als daß auf diesem Wege kein Zeichenwechsel stattfinden sollte. Wir sehen also hier, daß unabhängig von den durch die Oberflächenbeschaffenheit des Wassers hervorgerufenen Elektrizitäten sich in ihm unterhalb seiner tiefsten Stelle ganz ähnliche Ströme wie beim gewölbten Tropfen entwickeln; sie sind indessen lange nicht so lebhaft und, weil in großer Tiefe dahinziehend, nicht so leicht zu erkennen. Sogar wenn Zinkfeile auf eine fast ebene Fläche von Jodkaliumlösung fällt; zeigen sich noch Anfänge zu Kreisströmen, obgleich die Umstände dazu sehr ungünstig sind; von jedem Spähnchen nämlich, das nicht schon ganz am Rande liegt, geht dennoch ein Oxydstrahl ab und sofort hin nach dem letzteren, biegt daselbst wieder nach unten um und erreicht beinahe die Mitte der Flüssigkeit. Elektrizität ist überall im Wasser, das seine Temperatur schnell ändern kann, vorhanden; doch wird es noch viel Mühe und Arbeit kosten, um die in ihm verborgene Thätigkeit bestimmter als es bisher geschehen konnte, zu Tage zu fördern.

Wie kam ich denn aber dazu gerade einen Tropfen Jodkaliumlösung zu nehmen, um die so gesetzmäßig erfolgenden Bewegungen der kleinen Teilchen des durch die Elektrizitätsverstärkung sofort entstehenden Zinkoxydes oder Eisenoxydhydrates u. dergl. in möglichster Vollkommenheit zu erhalten? Nicht das Jodkalium allein, sondern noch viele andere Körper thun dieselben Dienste, nämlich die meisten stark hygroskopischen. Was diese auszeichnet, haben wir bereits (S. 233) kennen gelernt: Die Eigentümlichkeit, daß sie sich sogleich erwärmen, wenn sie aus der Luft Wasser anziehen können. Und ebenso wie das die noch trockenen hygroskopischen Stoffe thun, findet auch bei ihren in nicht zu trockener Luft offen hingestellten Lösungen Temperaturerhöhung um $^1/_4{}^\circ$, $^1/_2{}^\circ$, ja bis um $^5/_4{}^\circ$ statt, und zwar schon, wenn man nur fingerhutgroße Standgläschen benutzt.

Zu der Temperatursteigerung, die von der fortgesetzten Elektrizitätserregung durch die auf den Tropfen gefallenen kleinen Metallstückchen herrührt, kommt also noch eine andere, nämlich die, welche durch die Wasseranziehung von seiten der hygroskopischen Lösung entsteht — sie mag kurz die hygroskopische Wärme heißen — und infolge der resultierenden stärkeren Wärmezunahme muß zunächst stärkere Elektrizität in ähnlicher Weise wie durch stärkere Reibungswärme erzeugt werden. Indessen wirkt in gleichem Sinne noch ein dritter Umstand, nämlich die Thatsache, daß sehr viele Lösungen sich durch direkte Wärmezufuhr bis zu einem gewissen Punkte erheblich mehr als eine gleiche Menge einfachen Wassers erwärmen. Denn wenn eins von zwei gleichen Gläschen S und W (Fig. 143) z. B. 3 g Salmiaklösung, das andere ebensoviel gewöhnliches Wasser und jede der beiden Flüssigkeiten eins von zwei gleichgehenden Thermometern T und T enthält, beide Gläschen

bei etwa 18° neben einander in einer flachen Porzellanbüchse B stehen und in die letztere warmes Wasser gegossen wird, so steigt die Temperatur der Lösung bis ungefähr zum 30. Grade immer um mindestens einen Grad schneller als die des Wassers; ebenso verhält sich das gemeine Kochsalz und eine große Menge nicht besonders hygroskopischer Salze. Aber schon um doppelt, also um 2 Grade mehr erwärmt sich dünne Zucker-, um $2^1/_2$ ° bis 3° mehr Chilisalpeter-, Kaliumkarbonat-, Chlorkalcium-Lösung und sogar um 5° höher als im Wasser steigt das Thermometer in Jodkaliumlösung. Diese Beobachtungen, die bei einer flüchtig ausgeführten Bestimmung spezifischer Wärmen auf die Geschwindigkeit der Temperatursteigerungen Rücksicht nehmen wollen, sind indessen dadurch noch interessant, daß es für jeden der ausgesprochen hygroskopischen Körper einen bestimmten, im allgemeinen zwischen 20° und 40° liegenden Punkt giebt, wo seine Erwärmungsfähigkeit dem Wasser gegenüber bedeutend nachläßt, das Quecksilber im Thermometer der Lösung von dem jenes im Wasser befindlichen binnen wenigen Sekunden eingeholt und oft um mehrere Grade überflügelt wird. Obgleich diese Dinge uns hier direkt nichts angehen, so können wir im Hinblick auf das Umwandlungsgesetz daraus doch schließen, daß die Lösungen verschiedener Substanzen, die schon durch Berührung mit dem atmosphärischen Wasserdampfe elektrisch und wärmer werden, wie so viele Metalle bei einer und derselben Temperatur nicht gleichnamig elektrisch sind, daß also, wenn zwei von ihnen zusammen gebracht werden, wenigstens ein Teil des einen dieser Stoffe einen des anderen anzieht und daß diese Anziehung auf der Stelle einen neuen Körper, eine neue chemische Verbindung hervorbringt bez. hervorbringen kann.

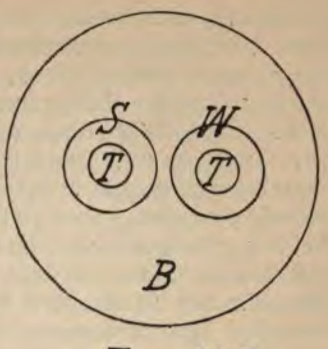


Fig. 143.

Dadurch nun, daß der mit Metallfeile bestreute Tropfen einer Lösung von Jodkalium, Salmiak, Zucker u. s. w. rasch sich stärker erwärmt wie ein ebenso besetzter Wassertropfen, wird der erstere auch schnell stärker elektrisch als der letztere, weil die Wärmezunahme sich doch nur in engen Grenzen hält. Verwenden wir bei der Voltaschen Säule verdünnte Schwefelsäure, so wird der Nutzen davon, wenigstens zum Teil ebenfalls in ihrer hygroskopischen Wärme zu suchen sein. (S. 112). Und nachdem thermometrisch festgestellt wurde, daß die vorzugsweise Wasser anziehenden Körper je nach der Menge desselben wärmer oder kälter werden, wird was schon oben (S. 191) über die Elektrizitätserregung der Trockensäule gesagt wurde, noch annehmbarer erscheinen, nämlich daß das Papier dank seiner Hygroskopizität beide Metalle, das eine aber, wie bei Volta's Grundversuche, mehr als das andere erwärmt, weil ihre Erwärmungsfähigkeit verschieden ist, und dadurch jenes positiv und dieses negativ elektrisch macht. Während beim Fundamentalversuche wir selber durch unsere Manipulationen

Erwärmung und Abkühlung schaffen, wird in der Trockensäule beides durch die Anziehung und Verdunstung des Wassers geliefert, also durch Vorgänge, die, nebenbei bemerkt, schon von Elektrizität herrühren. Weil aber die hygroskopischen Temperaturänderungen der papierenen Elektrizitätserreger dieses so unendlich feinen Apparates zweifellos nur sehr gering sind, und weil man sehr viele der letzteren über einander legen muß, um die erste Spur von Elektrizität in der Säule nachweisen zu können, so erscheint der Schluß gerechtfertigt, daß Elektrizität bei noch viel geringeren, ja bei den allergeringsten Erwärmungen und Abkühlungen, die man sich denken kann, entsteht, **daß also die kleinsten Massenteilchen, die Moleküle und Atome, weil sie sich fortwährend bewegen, und dabei unausgesetzt ihre Temperatur ändern müssen, allzeit mehr oder weniger elektrisch sind, und daß in dem Äther ihrer Zwischenräume die elektrischen Schwingungen, die wahrscheinlich jenen des Lichtes sehr ähnlich sind, ihren Sitz haben.**

Kapitel XXX.

Einige Beispiele von chemischer Zersetzung und Neubildung durch das Tropfenelement.

Das Ozon, das bei der Berührung des Wassertropfens mit Metallfeile entsteht, wird von diesem sogleich aufgelöst und das Ozonwasser ist es, das die letztere so schnell oxydiert. Eisenfeile auf einem Tropfen destillierten Wassers. Bleifeile auf einem Tropfen destillierten Wassers. Zinkfeile auf einem Tropfen von Zinkchloridlösung. Zinkfeile auf einem Tropfen Kupferchloridlösung. Zinnfeile auf einem Tropfen Lösung von salpetersaurem Silberoxyd. Aus seiner Lösung scheidet sich das Metall hoch oben auf dem Tropfenrande aus, das Oxyd aber in der Tiefe des letzteren; jenes bleibt am Rande, und dieses wandert nach der Tropfenmitte. Am Tropfenelemente ist der Rand negativ und die Mitte positiv.

Unerläßlich ist, daß wir einen Anfang machen in der weiteren Anwendung und Ausbildung der Methode, einen Tropfen mittelst Metallfeile stärker zu elektrisieren und dadurch chemische Zersetzungen und Neubildungen verschiedener Art mit Leichtigkeit hervorzubringen; denn diese Versuche offenbaren uns wesentlich mehr von der feinsten Wirkungsweise der Elektrizität, von den chemischen Vorgängen, und vieles noch viel deutlicher als die bisher angestellten.

Zunächst ist an die beiden Metalle zu denken, die in Berührung mit Luft und Wasser ebenso schnell oxydieren wie das Zink, an das Eisen und das Blei.

Seite 285 erfuhren wir, daß bei der Berührung von Metall und Wasser allezeit Ozon, also vorher Elektrizität entsteht; da nun aber völlig trockenes Ozon auf trockenes Jodkalium und trockene Metalle ganz und gar nicht einwirkt, so folgt daraus, daß das Ozon erst von dem an einem Körper haftenden Wasser bez. Wasserdampfe absorbiert werden muß, bevor es ihn oxydieren kann. Die Bildung des Ozons und die Bedingung für seine Wirksamkeit gehen demnach miteinander Hand in Hand, weil jeder Körper durch seine Berührung mit Wasser augenblicklich elektrisch wird, und das dabei gebildete Ozon sich in dem letzteren, gemäß seiner großen Absorptionsfähigkeit für dieses Gas, sogleich **auflöst.** Das ist der Grund, warum ein Wassertropfen auf einer blanken Messerklinge, wenn man ihn nicht bald abwischt, einen Flecken hinterläßt. Bekanntlich vermag der inaktive Sauerstoff nicht das Eisen, Blei, Kupfer, Zink u. s. w., wenn sie völlig trocken sind, bei gewöhnlicher Temperatur zu oxydieren; wo aber zur Oxydation Wasser notwendig ist, da dürfen wir nicht vergessen, daß dasselbe, wenn es den zu oxydierenden Körper berührt, nicht mehr einfaches Wasser bleibt, sondern nachweislich zu **Ozonwasser** wird, weil das Wasser außer durch die Berührung auch durch Verdunstung, die im Freien oder in Lufteinschlüssen, welche es selber besitzt, vor sich geht, seine Temperatur rasch ändert und somit Elektrizität erregt.

a) Eisenfeile auf einem Tropfen destillierten Wassers. Ist das Zimmer nicht zu kalt, so entwickeln sich in wenigen Sekunden an der Wasserlinie der Feilspähne nach den verschiedensten Richtungen, immer aber zugleich nach abwärts hin bläulich weiße Wölkchen von Eisenhydroxydglobuliten; die letzteren sind aber anfangs so klein, daß man sie nur bei der allergrellsten Beleuchtung des Dunkelfeldes und kaum bei 150facher Vergrößerung als einzelne Pünktchen erkennen kann. Sie werden jedoch zusehends größer, rein weiß und nun zeigt sich, indessen wiederum nur im günstigsten Lichte und mindestens 20° warmen Zimmer, daß sie alle auf dem kleinen, zunächst nur 5 mm großen Raume sehr lebhafte, scheinbar ungeordnete Wirbelbewegungen machen, ähnlich nur nicht in solcher Heftigkeit, wie nach Entfernung des Spirituspinsels von dem Stärkewassertropfen die einzelnen Körner (S. 211 ff.). Aber schon in einer Minute lassen die kleinen auf und ab und hin und hergehenden Kreisströme an Geschwindigkeit und Ausdehnung nach, die Oxydteilchen bewegen sich weniger weit und langsamer durcheinander und ehe man sichs versieht, sind sie teils zu Boden gesunken, teils eins neben dem andern fest an der Wassergrenze der Feilspähne hängen geblieben; hier wachsen sie noch lange weiter fort, indem fortwährend ungeheuer viele neu entstandene, noch äußerst kleine Globuliten sich an die bereits vorhandenen ansetzen, sodaß in 15—20 Minuten um jeden Spahn ein breiter dicker Oxydsaum entsteht, der erst rot, dann dunkelbraun wird, und schließlich bilden sich um diesen wieder Unmassen von einzelnen oder lose aneinander hängenden und meist auf dem Wasser ruhig liegen bleibenden, auffallend großen Hydroxydglobuliten. Nachdem die gleich beim Beginn der Oxydation auftretenden lebhaften, aber sehr kleinen Kreis-

strömen zur Ruhe gekommen sind, beobachtet man, und zwar an der inneren Peripherie des Metallkranzes, allerdings auch wesentlich größere, ähnliche Kreisströme, durch welche die meist auf dem Wasser liegen bleibenden Globuliten weiter fortgetragen worden sind; allein sie greifen lange nicht so schnell und kaum 0,5 mm aus. Zu einem Oxydsterne kommt es also nicht, wenn die Eisenfeile auf einen Tropfen einfachen Wassers gestreut ward: Gewisse stark hygroskopische Körper, z. B. Calium jodatum, Calium aceticum, Ammonium chloratum, die sich beim Anziehen des Wassers aus der Luft erwärmen (S. 233 und S. 298), müssen darin aufgelöst sein, wenn die elektrischen Ströme in ihm einen so hohen Grad erreichen sollen, daß Unmassen von Oxydkörnchen schnell viele Tausende von Mikromillimetern nach einem bestimmten Ziele und auch sonst gesetzmäßig, d. h. auf einer in sich geschlossenen Linie hin und her bewegt werden.

Entfernt man endlich die Eisenfeilspähne, nachdem das Wasser völlig verdunstet ist, legt von der bräunlichen Masse mit der Messerspitze eine Kleinigkeit (unter der Lupe und bei angehaltenem Atem) auf eine reine Stelle des Objektträgers, daneben einen möglichst kleinen Tropfen Schwefelsäure und zieht aus diesem mit einer mikroskopisch feinen Glassonde ein noch viel kleineres Tröpfchen heraus, bis es sich von dem Muttertropfen trennt und das Pulver berührt, so lößt dasselbe sich darin ganz und gar nicht, kann also schon nicht mehr als frisch gefälltes, d. h. nicht mehr als noch feuchtes Hydroxyd gelten. Wird nun statt der konzentrierten Säure die verdünnte angewandt, so lößt sich zwar etwas, indessen doch nur wenig auf; sofort verschwindet alles Hydroxyd, wenn man zu dem, das mit verdünnter oder konzentrierter Säure zusammengebracht ward, mindestens ebensoviel Wasser zusetzt. Offenbar spielt hierbei die plötzlich auftretende und sich sehr rasch steigernde Wärme eine große Rolle, denn durch diese entsteht natürlich Elektrizität. Da nun aber unzählige Substanzen sich in der Wärme besser als in der Kälte, ja viele sich nur in der Wärme auflösen, so dürfte auch diese Erscheinung, die Auflösung des Eisenhydroxydes in Schwefelsäure, die man soeben verdünnt, wenigstens zum Teil auf Elektrizität zurückzuführen sein. Ja, so lange der Niederschlag noch feucht ist, wirkt er wie nasses Löschpapier, das die ihm dargebotene Flüssigkeit eo ipso elektrisch anzieht.

b) Bleifeile auf einem Tropfen destillierten Wassers. Von der Oxydation des Bleies auf Wasser verdient dreierlei Beachtung. Zunächst lehrt ein Vergleich, daß es unter den gewöhnlichen Metallen außer dem Blei keines giebt, dessen Oxydglobuliten schon während sie noch unsichtbar klein sind, weit fortgestoßen werden, mithin erst in einiger Entfernung von den Spähnen zum Vorschein kommen; dann aber fällt sofort auf, daß sie ungeheuer schnell wachsen, zu länglichen Krystallchen werden und unter Umständen in so fabelhaft großer Menge auftreten, daß man denken könnte, wer weiß was für eine Flüssigkeit hier angreife. Freilich ist es ja bei jeder derartigen Oxydation Ozonwasser, das da wirkt; aber solche Wunder wie hier thut es höchst wahrscheinlich nur darum, weil das Blei zu den Metallen gehört, welche die allergeringste spezifische Wärme, nämlich nur 0,031 besitzen, während das Zink ja ziemlich 0,1 und das Eisen sogar schon 0,114

hat. In zweiter Linie sind es die herrlichen Molekularbewegungen, in welchen die Oxyd-, genauer die Hydroxydteilchen, so lange sie nur eine Länge von etwa 1 mm haben, begriffen sind: Ein so lebhaftes, und im Sonnenscheine ja sogar farbiges Gefunkel sieht man sonst nirgends, und eben daraus folgt, daß die Oxydkörperchen schon lange ehe sie zur Ruhe gekommen und viel größer geworden sind, spiegelnde Flächen erhalten haben, also zu Krystallen wurden. Die molekularen sind aber nicht die einzigen Bewegungen der Oxydkrystalle, vielmehr werden dieselben von jedem Bleispahne auch weiterhin ab-, und zwar strahlenförmig abgestoßen, sodaß der Halbkreis, den die wimmelnde Masse bildet, immer größer wird. Fällt nun glücklich einmal der erste Blick auf die Anfänge der Oxydation — dazu ist aber, weil sie zu rasend schnell verläuft, notwendig, daß das Dunkelfeld bereits hergestellt ist und das Objektiv schon den richtigen Abstand von dem Objektträger hat, der benutzt werden soll — so sieht man in einiger, d. h. etwa 5 mm Entfernung von dem ins Auge gefaßten inneren Rande des Bleispahnes Pb (Fig. 144 A) einen noch äußerst zarten, grauweißlichen Bogen O O O, der ihn halbmondförmig umspannt, auftreten, an seinem inneren Rande verwachsen, der am äußeren schärfer begrenzt ist, mit jedem Augenblicke deutlicher wird und weiter nach der Tropfenmitte rückt (Fig. 144 B), dabei sich aber in der Richtung nach Pb verbreitert, bis der Zwischenraum zwischen Pb und O′ bald ebenso sehr mit Krystallchen gefüllt ist, wie der dichteste Teil bei O′ selber; ein schmaler Streifen s s um Pb bleibt jedoch stets so gut wie leer, und erkennen wir darin dasselbe wieder, was wir Seite 289 bei der genaueren Untersuchung der Reaktion auf das durch Bestreuung mit Metallfeile eines Jodkaliumstärkewassertropfens entstehende Ozon gesehen haben.

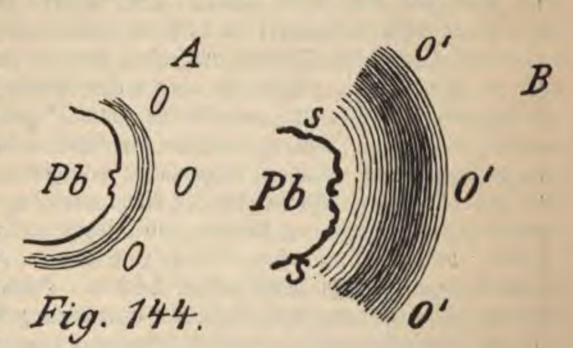


Fig. 144.

Die von Pb abgestoßenen Hydroxydteilchen mußten also erst den Weg bis O O O machen, bevor sie unterwegs so groß geworden waren, daß man sie bei ungefähr 100facher Vergrößerung sehen konnte, und diese Strecke wurde von vielen Hunderten solcher Krystallanfänge gleichzeitig zurücklegt, sodaß die ersten zusammen eben einen Bogen bilden; gelangte die Oxydwolke aber bis O′ O′ O′, so war unterdessen die Triebkraft, die Elektrizität, stärker geworden, ebenso wie die Ozonreaktion unterdessen intensiver geworden wäre. Hier, wo wir die letztere nicht zugleich mit beobachten, wird ganz dasselbe auch durch massenhafte und unaufhaltsame Vermehrung der Neubildungen dargethan, die ja erst durch das Ozon geschaffen werden, während dieses eine direkte Elektrizitätswirkung ist. Demnach werden die Bleihydroxydglo-

buliten wie z. B. jene des Eisenhydroxydes in der Jodkaliumlösung in zentripetaler Richtung fortbewegt; da sie aber zugleich höchst lebhafte, kurze, molekulare, also solche Bewegungen ausführen, die zu den zentripetalen mehr oder weniger senkrecht stehen, so haben wir wieder, beim Lichttrichter, jene Verbindung von Vorwärtsbewegung und Transversalschwingungen, wovon S. 292 die Rede war.

Damit man nun die Bewegung nach vorwärts, also die nach der Tropfenmitte hin, möglichst weit verfolgen kann, ist das in verstärktem Maße nötig, was überhaupt die Grundursache aller dieser Doppelbewegungen ist, die Erwärmung des Metalles. Ich habe eine 6 cm lange, 4 cm breite und fast $1^1/_2$ mm dicke Bleiplatte, von welcher ich die Spähne abfeile; ist nun das Erste, was ich früh, wo ich noch kühl bin, mithin die Gegenstände rings um mich noch kaum etwas erwärmt habe, im kalten Zimmer thue, daß ich diese Platte nur an einem Ende so wenig wie möglich anfasse und vom andern etwas auf einen Wassertropfen abfeile, so kann ich 15—20 Sekunden warten, bis sich das beschriebene Oxydwölkchen zeigt. Hat das Blei aber eine halbe Stunde und länger in meiner Nähe gelegen und wiederhole ich den Versuch auf einem anderen Objektträger, so hat man gleich auf den ersten Blick das Bild der Fig. 144 A, und ein paar Sekunden später beinahe schon das der Figur 144 B. Viel weiter will aber die Hauptmasse des Oxydes nicht vorwärts: sie kann es nicht, weil die durch das Anfassen pp. erregte Elektrizität Ströme aussendet, die für das so sehr schwere Bleioxyd zu schwach sind. Fasse ich aber meine Platte an dem Ende an, wovon ich abfeilen will, und behalte sie zuvor $^1/_2$—1 Minute zwischen den warmen Fingern, so treiben, nachdem die Spähne auf den Tropfen gebracht worden sind, sofort kolossale Oxydmassen nach seiner Mitte hin; nur muß man so vollkommen wie möglich den Atem anhalten, jede unnötige Bewegung vermeiden und einen nur kleinen und niedrigen Tropfen, der nicht leicht erzittert, benutzen, weil die eiligen zentripetalen Ströme durch derartige Erschütterungen nur zu leicht gestört werden. Blieb aber alles möglichst in Ordnung, so sieht man nach so starker Erwärmung bald den ganzen Tropfen voll von jenen kleinen glitzernden Krystallen wimmeln, von denen viele in der Tiefe noch immer vom Rande nach der Mitte, und höher oben einige in umgekehrter Richtung wandern. Wie die Voltaschen Platten im kühlen Raume nach der ersten Verbindung und Trennung mit kalten Händen unelektrisch oder fast unelektrisch bleiben, ebenso muß das Blei, wovon wir auf den Wassertropfen feilen, etwas vorgewärmt werden, wenn die mikroelektrischen Erscheinungen dieses Metalles, die Ozonisierung, die Oxydation und Krystallisation, auf der Stelle geschehen und zum Erstaunen schnell sich in ihrer ganzen Großartigkeit entwickeln sollen. Wurde aber dasselbe Blei am selben Tage schon zu mehreren Versuchen benutzt, also häufig erwärmt und möglicherweise niemals ganz kalt, so kann man es, zumal im warmen Zimmer, noch so lange anfassen, das Oxyd ist, ehe man noch den ersten Blick ins Mikroskop thun kann, überall massenhaft hervorgebrochen. So auffallend verstärkt werden auch die von den Feilspähnen vieler anderer Metalle ausgehenden elektrischen Ströme — natürlich weil ihre so kleinen

Teile sich unter diesen Umständen mehr als sonst abkühlen und ihre folgenden Temperaturwechsel in höherer Temperaturlage machen können; denn allbekannt ist ja, daß die bei gewöhnlicher niederer Temperatur stattfindenden Elektrizitätserregungen zunehmen, wenn die erstere etwas erhöht wird.

An die Wirkung von Feilspähnen verschiedener Metalle auf die einfachste Flüssigkeit, die es giebt, auf einen Tropfen destillierten Wassers, schließt sich die Frage, wie sich zu ihnen zusammengesetztere Flüssigkeiten verhalten, insonderheit ob hierbei elektrochemische Zersetzungen in ähnlicher Weise zu stande kommen, wie mittelst des Stromes von einem der viele tausend Male größeren und kunstvoll hergerichteten elektrischen Elemente im gewöhnlichen Sinne des Wortes. Diese Frage ist leicht auf das Bestimmteste mit Ja zu beantworten, und liefert auch unser nur aus einem mit feinen Metallteilchen bestreuten Tropfen bestehendes Element, sagen wir kurz unser Tropfenelement, mit Auflösungen von Metallen in Säuren die schönsten Erfolge.

Den Uebergang zu diesen Versuchen sollen zwei noch einfache, d. h. blos wässerige Lösungen, nämlich die von Zinkchlorid und Kupferchlorid machen, indem wir einen Tropfen davon mit Zinkfeile beschicken, weil diese am leichtesten stark elektrisch wird und infolgedessen erwarten läßt, daß sie die elektrochemische Zersetzung, die krystallinische Ausscheidung des Metalles aus seiner Lösung und die Oxydation von jenem, das auf ihr liegt, am besten zeige.

c) Zinkfeile auf einem Tropfen mäßig konzentrierter Zinkchloridlösung. Allerdings hat diese Anordnung den Nachteil, daß man die Metallvegetationen nicht ohne weiteres deutlich sehen kann; dafür gewährt sie aber den unschätzbaren Vorteil, daß man bei dem chemischen Prozesse zugleich die Ozonbildung nachweisen kann, weil die Chlorzinklösung sich mit Jodkaliumstärkekleister, ohne daß Jod ausgetrieben wird, vermischen läßt. Und darum stelle ich diesen Versuch voran.

Sowohl auf Zinkchlorid- als auch auf Zinksulfatlösung bekommen die von der Flüssigkeit benetzten Ränder der Zinkfeilspähne alsbald einen im Dunkelfelde blendend weißen Saum, der immer breiter, dabei jedoch graugelblich wird, ringsum kurze Läppchen und zwar auch da bekommt, wo die Metallfläche vorher glatt, d. h. nicht vom Feilenstriche zackig oder fein gezähnelt war (Fig. 145), ja nach einer Stunde lassen sich darin und daran vielfach kleine Nadel- und Blattspitzen unterscheiden. Diese Säume sind Zinkoxyd; denn sie lösen sich leicht in Natronlauge auf, nachdem sie in Unmassen Oxydkörnchen, Oxydglobuliten, zerfallen sind. Vor dem Zusatze von Natronlauge muß der Tropfen jedoch flach gesogen werden, damit er nachher nicht überläuft und der Metallkranz, auf dessen genaue Musterung nunmehr alles ankommt, nicht zerreißt, seine Spähne nicht aus einander getrieben und mit denen vermengt werden, die vordem mit der Lösung nicht in Berührung waren, also nichts besonderes darbieten können. Im selben Augenblicke aber, wo das Zinkoxyd verschwindet, sieht man bei ungefähr



Fig. 145.

starken, z. B. 10prozentigen Silberlösung mit Zinnfeile die Nachzügler, welche von der Tropfenhöhe zum Rande herunter kommen, beide Elektrizitätsprodukte mit sich führen: Am vorauseilenden, also vorderen Ende, haben sie üppige Silbervegetationen und am hinteren ziehen sie einen dicken Schweif von bei auffallendem Lichte weißen Globuliten hinter sich her, die, weil sie sich in der frei werdenden Säure erhalten, nur Zinnoxyd sein können.

Jetzt müßten eigentlich die Reduktionen eines Tropfens von salpetersaurem Silber durch die Feilspähne anderer Metalle, also des Zinks, Bleis, Eisens pp. folgen; indessen diese Versuche, so nützlich sie für Demonstrationen sind, haben kein hervorragend elektrochemisches Interesse. Daher wollen wir lieber noch einen Blick auf die merkwürdigen Bewegungen im Innern des Tropfens, die wir als elektrische Ströme erkannten, werfen und sehen, ob es nicht Fälle giebt, wo, außer daß die charakteristischen Oxydwanderungen geschehen, auch, wie im Großen in einer metallischen Lösung zwischen den beiden Elektroden, an einer bestimmten Stelle des Metall reduziert, also jedes von seinen an einem Punkte frei gewordenen Atomen nach jener Stelle hingezogen werde und hierauf sich eins an das andere zu einem krystallinischen, wenn auch mikroskopisch kleinen, Gewächse füge.

Es bedarf nicht vielen Nachdenkens um zu finden, welche Zusammenstellung dieser Anforderung entspricht. Durch das Eisen wird bekanntlich das Kupfer aus seinen Lösungen ausgeschieden, und da das durch das Ozon in dem mit Eisenfeile bestreuten Kupfervitrioltropfen gebildete Eisenoxydhydrat von der frei werdenden Schwefelsäure erfahrungsmäßig durchaus nicht völlig aufgelöst wird, so erscheint unter diesen Umständen gleichzeitig beides, die Reduktion und bei halbem Lichte die Oxydation, klar und deutlich im Gesichtsfelde. Gerade darauf, daß das Oxyd (hier das Hydroxyd) nicht vollkommen unsichtbar werde, kommt es an dieser Stelle an, und war es mir auch nicht möglich ein Beispiel zu finden, das die gesuchte Erscheinung noch besser wiedergäbe.

Hierbei zeigt sich nun ein sehr großer Unterschied. Die Metallvegetationen entstehen hoch oben auf der konvexen Oberfläche des Tropfens an den Feilspähnen, und zwar besonders an deren inneren Rändern, weil die im Tropfen erregten elektrischen Ströme ihnen hier das Material, die reduzierten Metallteilchen, entgegen bringen; die Oxydglobuliten aber kommen viel tiefer, nämlich beinahe auf dem Grunde des Tropfens zum Vorscheine. Da haben wir gleichsam die beiden einander entgegengesetzten Bestrebungen der beiden so verschiedenen elektrischen Zersetzungsprodukte! Wieder wie oben bei dem Versuche $\frac{Zn}{CuCl_2}$ zeigt sich — und hier sieht man die Krystallisation des Kupfers, die überall wachsenden, kupferrot oder messingfarben glänzenden dendritischen Gebilde, ganz außerordentlich schön —, daß der Prozeß der Oxydbildung und jener der Reduktion auf getrennten Bahnen mit entgegengesetzter Richtung anheben. Wird Eisenfeile auf einen Tropfen von schwefelsaurem Kupferoxyd gestreut, so ist das entstehende Hydroxyd

einer Flüssigkeit, weit mehr Kraft erforderlich sein muß als zur Ozonbildung, zur Zersetzung eines Gases des doppelatomigen Sauerstoffes. Erst wenn in einer schwachen Lösung die Elektrizität, die ja, wie man an der Ozonreaktion sieht, immer zunimmt, binnen einer geraumen Zeit um wenigstens einzelne, günstig gestaltete und günstig liegende Spähne hinreichend stark geworden ist, vermag sie die Lösung zu zersetzen, so daß von ihnen die Kupferatome eines nach dem andern in derjenigen Ordnung bleibend angezogen werden, die der ihnen von Hause aus innewohnenden Polarität entspricht. Weit vollkommener, ja geradezu prachtvoll entwickeln sich die Kupfervegetationen freilich, wenn man Zink auf in Säure gelöstes Kupferoxyd, z. B. auf Kupfervitriollösung feilt (S. 318 Fig. 149), oder wenn sie aus dieser Flüssigkeit durch Selbstreduktion hervorgebracht werden (s. d. folg. Kap.). Daß aber die Elektrizität des Tropfenelementes eine gewisse Stärke erlangt haben muß, bevor neben dem Oxyde das krystallinische Metall auftreten kann, werden wir am besten an dem unter e folgenden Beispiele sehen. Da nun konzentrierte Lösungen an sich leichter erwärmen als diluierte, die schon beinahe nur Wasser sind, so müssen jene auch durch die mittelst der Zinkfeile erregte Elektrizität sich stärker erwärmen als diese; folglich muß auch die Elektrizität der Feilspähne auf konzentrierter Lösung sofort und weiterhin stärker werden als jene der Spähne auf einer verdünnten. Das Fehlen des Zinkoxydes in konzentrierter Chlorkupferlösung ist im Grunde jedoch nichts Auffallendes; denn offenbar verbindet sich das bei der elektrischen Zersetzung derselben frei werdende Chlor mit jedem der vom Ozon losgerissenen Zinkatome zu löslichem Zinkchlorid, bevor es sich noch mit einem des Ozons zu Zinkoxyd vereinigen konnte.


Fig. 147.

Ebenso nun, wie wir an dem unter dem Buchstaben c beschriebenen Beispiele $\frac{Zn}{ZnCl_2}$ sahen, daß das Oxyd sich wohl auf dem, sagen wir kurz, reduzierten Metalle, niemals aber unmittelbar auf dem aufgestreuten Zink absetzt, ebenso zeigt sich hier bei $\frac{Zn}{CuCl_2}$, daß das in verdünnter Lösung erst später als das Oxyd erscheinende Kupfer niemals auf diesem, sondern stets mehr oder weniger entfernt von ihm, ja häufig an dem entgegengesetzten Ende des Zinkspahnes erwächst. Um sich darüber klar zu werden und alles genau übersehen zu können, ist es jedoch nötig, daß nur einige wenige, ganz kleine und annähernd regelmäßig geformte Splitter auf dem Tropfen liegen, der selber möglichst flach sein muß; denn wenn die Spähne sehr groß sind, teilweise über einander liegen und höchst unregelmäßige Form haben, ist die Uebersicht zu schwer und stören sich die Neubildungen gegenseitig. Daher feile ich auf einen solchen Tropfen mit einigen äußerst leicht geführten Strichen einer allerfeinsten Feile Zinkstückchen, die wenig größer als die Blutkörperchen, vieleckig oder länglich sind und möglichst ebene Blättchen oder gerade Stäbchen darstellen. Unter diesen Umständen sieht man

das Gewünschte ganz regelmäßig, nämlich daß das Oxyd O O (Fig. 148) entweder ausschließlich auf dem einen Ende oder der einen Seite sitzt, sie einhüllt und dergl., und daß die Vegetationen V V nur das andere Ende bez. die andere Seite bedecken, oder daß die letzteren blos die Mitte eines Zinkstückchens besetzen (V), während seine beiden Enden zwei ganz symmetrische Oxydschweife nach dem Tropfenrande aussenden. Dies scheint darauf hinzuweisen, daß, wie bei der Elektrolyse im großen das Oxyd nach der einen und das Metall nach der andern Elektrode geht, auch hier im kleinen die Orte, wo die beiden, so sehr verschiedenartigen Ansammlungen stattfinden, gleich den letzteren selber entgegengesetzt elektrisch sind. Endlich ist noch zu bemerken, daß auf verdünnter Lösung entfernt vom Tropfenrande liegende kleine Zinkspähne bisweilen nirgend etwas Oxyd, sondern ringsherum nur dicht nebeneinander stehende kleine Vegetationen an sich tragen, sowie daß andererseits und zwar in ähnlicher Lage, auch solche Zinkstückchen vorkommen, die allenthalben nur mit Oxyd umgeben sind. Daraus ist wohl zu schließen, daß mitunter einmal ein ganzer Spahn bei seinem Auftreffen auf dem Tropfen negativ, ein anderer positiv ist, während die Spähne am Rande des letzteren infolge ihrer Lage auf einer Fläche, die oben eine ganz andere Temperatur wie unten haben muß, polarelektrisch sind und beides, Oxyd und Metallvegetationen besitzen.

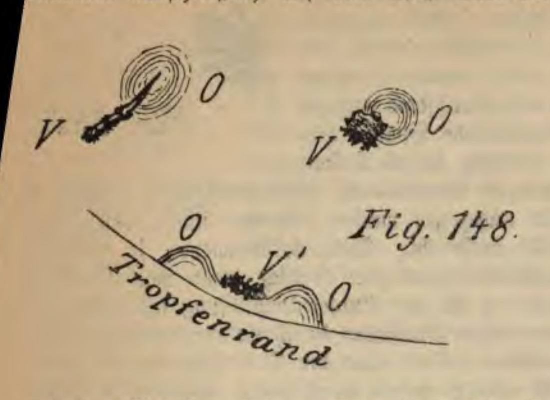


Fig. 148.

e) Zinnfeile auf einem Tropfen Lösung von salpetersaurem Silber. Diese Zusammenstellung bildet einen passenden Uebergang zu der Elektrisierung zusammengesetzterer Metallauflösungen durch Feilspähne anderer Metalle; doch ist der Zweck des diesbezüglichen Versuches $\frac{Sn}{AgNO_3}$ hauptsächlich der unter d in Aussicht gestellte Nachweis, daß zur Zersetzung einer metallischen Lösung wesentlich stärkere Elektrizität gehört als zur Oxydierung; denn diese Anordnung gehört zu den seltenen, wo das Oxyd von der Entstehung seiner ersten Globuliten an sichtbar ist und es auch später, wo die Reduktion schon sehr bedeutend vorgeschritten ist, noch bleibt.

Bei diesem Versuche muß man zunächst zweierlei wissen: 1. Daß auf einfaches destilliertes Wasser gestreute Zinnspähne durchaus nicht oxydieren, die Berührungselektrizität zwischen beiden Körpern an und für sich also zu gering ist und erst die nötige Stärke bekommt, wenn statt des Wassers eine Flüssigkeit genommen wird, die weit temperaturempfindlicher ist, d. h. sich bei Berührung mit jenen stärker als Wasser erwärmt; so z. B. zeigt 10prozentige Höllensteinlösung im kleinen Standgläschen nach Bestreuung

mit einer Federmesserspitze voll Zinnfeile bei 17° sofort eine Temperaturerhöhung von 0,3°; 2. daß das auf schon stark verdünnter Höllensteinlösung immer noch augenblicklich erscheinende Zinnoxydhydrat wie bei $\frac{Pb}{Aq.\ dest.}$ eine rasend schnell sich vergrößernde Wolke von kleinsten, glitzernden, länglichen, in heftigster Molekularbewegung begriffenen Krystallchen bildet, die von dem am Tropfenrande liegenden Zinnspähnen teilweise auf der Stelle hinauf auf die Tropfenoberfläche steigt und leicht übersehen wird, wenn man nicht sofort etwas höher einstellt, als zum deutlichen Sehen der Metallstückchen nötig ist.

Nun wäre es ganz verfehlt, wenn man dächte, daß eine bis auf $^1/_2$ Prozent verdünnte Lösung, also von 5 auf 1000, wie das Präparat innerlich gegeben wird, schwach genug sein müsse, um mit Zinn bestreut zunächst nur Oxydation zu zeigen; beabsichtigt man das, so reicht eine solche Verdünnung noch lange nicht aus, und selbst in einem Tropfen einer $^1/_8$ prozentigen Lösung erscheint noch zugleich mit der Oxydation die Reduktion. Erst, wenn das Wasser nur $^1/_{10}$ Prozent Argentum nitricum enthält, kann man sagen, daß die Anfänge der Silbervegetationen eine oder zwei Sekunden später als sich die Oxydkrystalle hervorwälzen, deutlich werden. Um diesen jedenfalls sehr wichtigen Unterschied noch besser zu sehen, machte ich die Verdünnung, wenn auch ohne genaue Maße, noch beträchtlich größer, indem ich nämlich einen etwa 4 mm dicken Glasstab 2 cm tief in eine 10 prozentige Lösung von salpetersaurem Silberoxyd tauchte, und dann die Wenigkeit, welche, ohne einen Tropfen zu bilden, daran hängen blieb, in einer 7 ccm destilliertes Wasser enthaltenden Porzellanbüchse abspülte. Damit erfolgte zwar die Oxydation noch immer unverzüglich, aber ehe von der Reduktion die ersten Andeutungen zu erkennen waren, verging mindestens eine Viertelstunde. Elektrizitätsgrade, die so schwach sind, daß sie nur in das Reich des Gedankens zu gehören scheinen, sind dennoch stark genug, um den doppelatomigen Sauerstoff sogleich zu spalten, je drei Atome davon, vorausgesetzt, daß Wasser da ist, an einander zu fesseln, mit je einem Atome von diesen Drillingen ein Atom eines gegebenen Metalles loszureißen und damit gepaart ein neues Dasein zu führen. Das Oxyd ist in diesen Fällen das allerfeinste Elektroskop; denn so ungeheuer schnell wie dieses wird gewöhnlich nicht einmal die Ozonreaktion sichtbar. Wie sehr sich die Elektrizität aber in der oft angegebenen Weise verstärken muß, ehe sie auch im stande ist, Flüssigkeiten zu zersetzen und insbesondere ein Metall aus seiner Lösung auszuscheiden, geht aus obigem Versuche klar hervor, und so muß man schließen, daß das Ozon, das bis heute sich uns nicht ganz ergeben will und vor dessen Anziehungskraft wir die höchste Achtung haben, noch weit mächtiger ist, als wir denken. Besitzt aber die Elektrizität vor allem Anfange an eine solche Intensität, daß sie die Atome des von den Molekülen der Säure angezogenen Silbers loszureißen vermag, ist also die Lösung beträchtlich konzentriert, so scheint es auch zur Bildung derjenigen Art von Zinnhydroxyd zu kommen, die eben schon im Status nascens verschwindet.

Interessant ist noch, daß bei Beschickung eines flachen Tropfens der

stürzenden Umwandlung, wie es die zu beschreibende ist, alles an den Temperaturen liegt, daß also chemische Prozesse, die im Großen gewöhnlich nur durch starke Temperaturänderungen zu erzielen sind, im Kleinen schon durch verhältnismäßig sehr geringe, meist ganz unbeachtet bleibende Wechsel dieser Art zustande kommen, falls es gelingt, ihr richtiges Maß zu treffen.

Dasjenige Metall, das aus einem Tropfen seiner Lösung durch Berührung mit Feilspähnen von ihm am schönsten und zwar augenblicklich auskrystallisiert, ist **das Kupfer.**

Auf einem Tropfen einer etwa 5prozentigen Lösung von Kupfervitriol wachsen, wenn er mit Kupferfeile bestreut wird, unter Umständen im Nu die herrlichsten Kupferdendriten hervor. Weil dieses Metall sich aber relativ schwer erwärmt und abkühlt, so müssen die Temperaturwechsel gerade bei den Versuchen mit ihm so stark sein, daß sie schon vom Thermometer angegeben werden. Daher ist die Anwendung des letzteren geradezu notwendig; denn sonst weiß man nicht, woran man ist und wie es kommt, daß die Reduktion heute vielleicht sofort und morgen absolut nicht gelingt. Die richtigen Temperaturen ausfindig zu machen, war jedoch durchaus nicht leicht, und es dauerte fast ein Jahr, ehe ich nicht blos wirklich wußte, worauf alles ankam, sondern auch wie die im Verhältnisse zu makrochemischen Versuchen immerhin nur kleinen Temperaturunterschiede zuverlässig herzustellen wären. Uebrigens ist es gut jedesmal drei Tropfen auf das Objektglas fallen zu lassen, weil häufig nicht der erste und zweite, sondern erst der dritte die Reduktion zeigt, sodaß dadurch viel Zeit und Mühe erspart werden kann.

Am sichersten erfolgt die Reduktion, wenn der Tropfen sich plötzlich abkühlen und rasch wieder erwärmen kann — also unter ganz denselben Bedingungen, unter denen bei Buchholz das Zinn aus der Zinnlösung auskrystallisierte. Da nun bei unserm Tropfenversuche die Lösung auf das Objektglas gelegt wird, so benutze ich diesen Akt zugleich zu der notwendigen schnellen Abkühlung, und hierbei zeigte die Erfahrung, daß die Reduktion fast jedesmal eintritt, wenn 1) der Objektträger aus einem nur 9—11° warmen Orte kurzer Hand auf den 14—15° warmen Tisch gelegt, also in etwa einer Minute nur wenig wärmer als seine Umgebung wird, und wenn 2) die Spitze der Pipette, womit man den Tropfen Kupferlösung faßt und auflegt, um ungefähr 2° kälter ist als die 14—15° warme Lösung. Hat man sich diese Temperaturziffern eingeprägt, so kann an ihre Beschaffung gegangen werden; eher aber nicht.

a) Die Abkühlung der Pipette. Sie geschieht teils dadurch, daß die letztere einige Minuten in Wasser stand, das 1° kälter ist als die Lösung auf dem Tische, teils durch die ebenfalls etwa 1° betragende Temperaturerniedrigung, welche erfahrungsmäßig binnen einer Minute durch die Verdunstung des an ihrer Spitze hängen bleibenden Wassertropfens entsteht, wenn das Glasröhrchen herausgenommen und auf den Tisch gelegt wird. Wie man sieht, soll die Spitze der Pipette kühler als die Umgebung sein, weil sonst die von ihr eingenommene Lösung leicht zu warm werden würde. Denn liegt die Pipette längere Zeit trocken oder ziemlich trocken auf dem

Tische, woran man sitzt und arbeitet, so bekommt sie sehr bald dieselbe etwas erhöhte Temperatur, wie daselbst alle Instrumente und wird, entsprechend der geringen spezifischen Wärme des Glases jedenfalls wärmer als die Kupferlösung; steckt man das Röhrchen jedoch in Wasser, das ein paar Grade kälter ist als die letztere, so wird es leicht zu kalt und erkältet dieselbe zu sehr. Wenigstens gelingt der Versuch fast niemals, wenn man nicht genau so, wie angegeben ward, verfährt. b) Schon lange, mindestens aber eine halbe Stunde vor der soeben beschriebenen Abkühlung der Pipette, müssen 2 oder 3 Objektträger auf das Brett des nach Norden gerichteten Fensters bez. in den betreffenden Zwischenfensterraum oder auch hinaus auf die Fenstersohlbank gelegt werden, damit die Versuche unverweilt geschehen können, wenn daselbst die gewünschten Temperaturen von 9—11° vorhanden sind. Das ist nun sehr oft im Frühjahr und im Herbste der Fall, und dann beträgt die Temperatur auch auf dem vom Fenster reichlich 1 m entfernten Arbeitsplatze des Tisches vormittags gewöhnlich 14—$15^1/_2$°, wenn nämlich nur Nachmittags etwas eingeheizt wird. c) Die Temperatur eines Objektträgers, der z. B. aus dem Zwischenfensterraume, wo 10° sind, herein in das 15° warme Zimmer genommen, binnen 4 Sekunden auf den Tisch gelegt wird und noch 6–8 Sekunden neben mir liegen bleibt, ist in dieser Zeit um etwa 0,5° gestiegen; denn ein Thermometer, womit man ebenso verfährt, geht in den ersten 10—12 Sekunden, d. i. in der Zeit, die leicht vergeht, bis alle Vorbereitungen geschehen, die Tropfen aufgelegt und die Feilspähne aufgestreut worden sind, um 0,5° in die Höhe, nämlich in der ersten ganzen Minute um 1,5°, in der zweiten um 1,0°, in der dritten um 0,7°, u. s. w. Die auf das Objektglas fallen gelassenen Tropfen der Lösung werden also mäßig kälter, ihr Wärmeverlust kommt aber augenblicklich der Unterlage zu gute. Denn ein mit drei Tropfen der 15° warmen Flüssigkeit betropftes, aus dem Zwischenfensterraum von 10° herein in das Zimmer von gleichfalls 15° genommenes Thermometer steigt fast sofort um 1,5°. Daher wurde der Temperaturunterschied zwischen der kleinen Menge Lösung und dem relativ sehr großen Glase schnell bedeutend kleiner, jeder Tropfen aber dabei verhältnismäßig stark elektrisch. d) Die unter diesen Umständen auf den Tropfen fallenden und nach seinem Rande gehenden Feilspähnchen werden also schon durch Mitteilung elektrisch. Da sie sich aber zugleich plötzlich abkühlen, so kann es geschehen, daß ihre Elektrizität noch stärker wird, wogegen sie bei zu großer Abkühlung leicht zum nächsten tieferen elektrischen Nullpunkte herabsinkt oder doch so schwach wird, daß eine Zersetzung der Lösung nicht zustande kommt. Das sind die Fälle, wo die Reduktion darum ausbleibt, weil das Objektglas allzu stark abkühlte. Da aber durch die Elektrizität zugleich Wärme, und durch diese von neuem Elektrizität entsteht (S. 288), so wird die Kupferfeile unter günstigen Umständen, d. h. wenn ein einzelnes Spähnchen eine recht passende Form und Lage hat, so stark elektrisch, daß sie nicht blos den gemeinen, zweiatomigen Sauerstoff, sondern auch die metallische Lösung und zwar auf der Stelle zersetzt. Denn ist ein Tropfen sehr flach und geht infolgedessen, was auf seine Mitte fällt, nur langsam nach seinem Rande, so zeigt sich bisweilen schon das erste

4 mm dickes Glasstäbchen 1 cm tief in den Salmiakgeist getaucht, so nähert man es dem Objektiv und Tropfen, ohne jedoch das Objektglas zu berühren, nach Möglichkeit, und wenn dies nur eine knappe Sekunde geschah, so hat man während derselben nichts oder blos gesehen, daß blitzschnell eine Art Trübung über den Tropfenrand, der dabei meist mehrere Fältchen bekam, hinwegfuhr, Erscheinungen, die in den nächstfolgenden Sekunden bereits spurlos oder fast spurlos verschwunden sind. Allein schon nach ein paar Minuten finden sich auf der eingestellten, also dem Ammoniak am meisten ausgesetzt gewesenen Stelle des Tropfenrandes einige, vielleicht 5—8 kleine, noch nicht blutkörperchengroße, wasserhelle Kügelchen, nach 10 Minuten schon mehr davon, während die ersten merklich größer geworden sind und in einer Viertel- bis halben Stunde am ganzen rechten Rande sehr viele Kugeln dieser Art, die noch bedeutend gewachsen sind, wogegen der linke Rand nur wenige besitzt und die Tropfenhöhe davon fast ganz frei ist. Daß die rechte Tropfenhälfte, welcher der Träger des Ammoniaks so nahe kam, die größte Menge solcher Neubildungen zeigt, kann nicht verwundern, weil sie offenbar aus diesem Gase entstanden; allein da sie beinahe ausschließlich am Rande des Kupfersulfattropfens anzutreffen sind und wir wissen, daß jeder frisch aufgelegte Tropfen überhaupt, am Rande aber am stärksten elektrisch ist, so bedeutet dies, daß eine elektrische Anziehung von Ammoniak jene Kugeln hervorgebracht, und daß sie an dem Teile des Tropfenrandes, welcher der Quelle dieses Gases am nächsten war, auch am hochgradigsten stattgefunden hat. Nach einer Stunde endlich wird es, namentlich mit Hilfe stärkerer Vergrößerungen, zweifellos, daß die Kugeln, die übrigens verschieden groß bleiben, stachelig sind, nämlich aus sehr vielen weißlichen, nadelförmigen Krystallchen bestehen, die mit dem einen Ende um den Kugelmittelpunkt gestellt sind; doch finden sich dergleichen Individuen auch einzeln. Also zur Krystallisation kam es, und zwar, weil dies viel früher geschah als die Flüssigkeit dem Eintrocknen nahe war, durch den Zuwachs, den sie von dem, wie man auch riecht, noch immer in der Luft vorhandenen Ammoniakdampfe erhielt. Folglich wird dadurch bewiesen, daß auch die fortgesetzte Einverleibung von Ammoniak, da sie bis zur Bildung von Formen führte, die wir als Bauwerke der Elektrizität erkannten, von eben derselben Kraft herrührt.

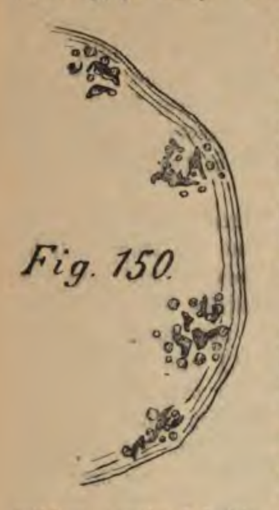
Von der Beschreibung der stürmischen Einwirkung des Ammoniaks auf das Kupfervitriol sehe ich ab, weil sie, obgleich sehr interessant, mehr in die eigentliche Chemie als in die Elektrochemie gehört. Die meist zu Stachelkugeln werdenden Krystalle sind Kupferoxydhydrat, werden infolge stärkerer Einwirkung von Ammoniak z. B. in einem Zimmer, worin geraucht wird, bläulich, gehen, wenn sehr viel von diesem Gase in der Nähe sich ausbreitet, in Lösung, die tiefblau wird und, sobald man Ammoniakflüssigkeit zuläßt, beim Stehen die bekannten großen lasurblauen Krystalle von schwefelsaurem Kupferammoniumoxyd absetzt.

Das alles waren nur vorbereitende Bemerkungen, die leider viele Worte nötig machten. Es kommt nämlich in der Hauptsache darauf an, ob bez. wie sich der skizzierte Sachverhalt ändert, wenn der Kupfer-

vitrioltropfen erst mit Metallfeile bestreut und dann mit Ammoniakgas behandelt wird. Diese Armierung kann mit Feilspähnen von jedem beliebigen Metalle geschehen: Was wir sehen wollen, zeigt sich dennoch, weil die kleinen Metallstückchen auf dem Tropfen ja alle, wenn auch verschieden schnell und verschieden stark, elektrisch werden. Hierbei kümmern wir uns gar nicht um Reduktion; denn in diesem Kapitel wird nur bezweckt, diejenigen Spuren von Ammoniak zu verfolgen, welche aus dem einen oder andern Grunde in die unmittelbare Nähe der Kupfervitriollösung gelangten.

Setzt man in einem rauchfreien Zimmer auf einen Objektträger zwei flache Tropfen Kupfervitriollösung, von welchen der eine mit Kupferfeile bestreut ist, und bläst darüber möglichst gleichmäßig den Dampf von drei Zügen aus einer Zigarrette, so zeigt sich im Dunkelfelde fast unmittelbar danach um die einzelnen Spähne oder die Gruppen von ihnen auf dem Rande des Tropfens ein weißliches Wölkchen von 0,1 mm bis 0,4 mm großen Kupferoxydhydratkügelchen; dagegen erscheinen auf dem andern, dem nicht armierten Tropfen, nur unregelmäßige, schwache Streifen davon, und auch später, vielleicht nach einer halben Stunde, wo die Oxydkugeln des armierten Tropfens zahlreicher und namentlich größer geworden sind — die drei Züge von der Zigarrette riecht man ja mindestens ebenso lange —, hat sich die Reaktion auf dem nicht armierten Tropfen nicht verstärkt. Arbeitet man jedoch in einem Zimmer, worin viel geraucht wird, so erscheinen auf bez. in dem nicht bestreuten Tropfen gar keine, in dem Rande des bestreuten aber allmählich zahlreiche, sehr große und bläulich werdende Oxydkugeln, worüber jedermann erstaunt, der das Präparat ein paar Stunden nicht gesehen hat. Aus der Verschiedenheit in dem Auftreten und in der Anordnung der Kupferoxydhydratkügelchen im bestreuten und nicht bestreuten Kupfervitrioltropfen folgt nun mit großer Bestimmtheit, daß der erstere im Gegensatze zu dem letzteren die Fähigkeit bekommen hat, das ihm dargebotene Ammoniak rings um die Feilspähne festzuhalten und in schwefelsaures Ammon zu verwandeln, sodaß Kupferoxydhydrat frei wird. Diese Fähigkeit kann aber nichts anderes sein als die Wirkung der so oft genannten, von der Benetzung der Feilspähne durch die Lösung herrührenden Elektrizität, während die nicht bestreute Oberfläche des andern Tropfens, unberührt wie sie ist, auch unvermögend bleibt, das Ammoniakgas in so hohem Grade anzuziehen. Wo auf einen Regentropfen, der z. B. auf ein Blatt auftrifft, spitzige Fremdkörper, die schwimmen können und gute Wärmeleiter sind, also anorganische Staubteilchen fallen, muß Elektrizität entstehen und diese ihrer Unterlage und Umgebung zu gute kommen. Allein nicht blos daß der armierte Tropfen elektrisch wurde, sondern auch wie sich die Elektrizität verteilte, ersehen wir zu unserer Ueberraschung; denn nur ganz in der Nähe der Spähnegruppen oder einzelner Spähne, genauer ausgedrückt, vorzugsweise an derjenigen Hälfte von ihnen, welche der Mitte des Tropfens zugewandt ist, finden sich die minutiösen Hydroxydkügelchen, wenn der letztere mit Rauch an-

geblasen ward oder sich überhaupt in ammoniakhaltiger Luft befand (Fig. 150). Diese so sehr auffallende Anordnung beweist nun, daß die Elektrizität von den Metallstückchen **ausgeht** und nur eine gewisse **Wirkungsweite** hat; da die Oxydkügelchen jedoch noch lange wachsen und immer deutlicher krystallinisch werden, so ergiebt sich, daß die Feilspähne, um welche die letzteren sich angesammelt haben, fortgesetzt, wie jene auf der immer mehr sich rötenden Jodkaliumstärkelösung, elektrisch bleiben und bis zu einem gewissen Punkte einen immer höheren Grad von Elektrizität erlangen.


Fig. 150.

Jedenfalls verdient die Einwirkung des Ammoniaks auf den armierten Tropfen Kupfervitriollösung aus verschiedenen Gründen genauere Beachtung, und dürfte das Beigebrachte vielleicht den Anstoß dazu geben, daß von anderen andere Beispiele dieser und ähnlicher Art ausfindig gemacht und dadurch unsere Vorstellungen über die den chemischen Vorgängen zu Grunde liegenden elektrischen, worin fast die gesamte Naturforschung gipfelt, immer mehr geläutert und befestigt werden.

Schluß.

Spezielles über den Voltaschen Fundamentalversuch.

Von den Voltaschen Platten und dem mit ihnen angestellten Grundversuche gingen wir aus, und auf ihn müssen wir auch schließlich wieder zurückkommen; denn was darüber bisher gesagt wurde, war nur das Notwendigste, da für vieles sich im Laufe des vorwärts drängenden Stoffes kein recht passender Platz finden wollte. Indessen werden wir aus den folgenden Angaben mehr noch als bisher ersehen, daß der Fundamentalversuch einen noch höheren Wert hat als ihm seine besten Freunde zuschrieben, ja daß er an lehrreichen Ergebnissen beinahe unerschöpflich ist, wenn man ihn verschiedentlich abändert und die Platten mit dem Mikrokondensator prüft.

Besonders handelt es sich um den Volta-Effekt in der Kälte und in der Wärme, dann um den umgekehrten Effekt und endlich darum, was für

Erfolge der Versuch mit Platten aus einem und demselben Metalle haben kann.

Das Wichtigste bei dem Schlußworte zu dem weltberühmten Fundamentalversuche bleibt die Vervollständigung des Beweises, daß zur Erzielung seines Effektes zunächst Wärmezufuhr notwendig ist, und daß dieselbe unabsichtlich, nämlich durch den Körper des Experimentierenden geschieht.

Am Anfange des zweiten Kapitels wurde gezeigt, daß jede einzelne von den Voltaschen Platten in dem Maße weniger elektrisch wird, als die Intensität der sie treffenden Wärmestrahlen abnimmt. Jetzt aber soll noch mehr bewiesen werden, nämlich daß der ganze Voltaeffekt umso länger ausbleibt, je mehr man statt Wärme auszustrahlen Kälte um sich verbreitet; doch greife ich aus den Notizen über die vielen Untersuchungen, die betreffs dieser Angelegenheit vorgenommen wurden, nur jene über einige der gelungensten heraus.

1. Den 22. Dezember 1895 war ich vormittags von 9 Uhr 20 Min. bis 10 Uhr bei 2,5° im Garten umhergegangen, fror schließlich stark an die Hände und begab mich in denselben Kleidern in mein ungeheiztes, 14,5° warmes Arbeitszimmer, wo die 2 mm dicke Kupfer- und die ebenso dicke Zinkplatte bereits neben einander auf dem Tische standen, und machte sogleich mehrere Male mit ihnen die Manipulationen des Fundamentalversuches; allein keine Spur von Elektrizität zeigte sich, beide Platten blieben sowohl bei der Verbindung (†), als auch nach der Trennung jedesmal 0 o. Ein Meter hinter mir stand aber die warme Kaffeekanne, und nachdem ich mir daran die Hände gewärmt hatte, waren sogleich bei der ersten Verbindung beide Platten mit IIa negativ, nämlich Zn $\underset{-}{12}$ und Cu $\underset{-}{6}$ — ein sprechender Beweis dafür, daß in der Veränderung, die unterdessen mit mir vorgegangen war, in der Erwärmung meiner Hände, auch die Ursache der Elektrizitätserregung liegen mußte. Als ich jedoch die Platten nun vorschriftsmäßig von einander trennte, so erhielt ich den Volta-Effekt doch nicht, sondern Zn $\underset{-}{20}$ und Cu $\underset{-}{8}$. Dieser Befund stellt sich nämlich regelmäßig im kalten Zimmer und wenn man selber ziemlich kalt ist ein; indessen gewöhnlich nur nach dem ersten Versuche und nach dem zweiten und den folgenden bleibt nur das Kupfer negativ, während das Zink positiv geworden ist. So war es auch an jenem Vormittage; denn schon nach der zweiten Verbindung der Platten, die sich dabei wiederum beide negativ zeigten, ergab die Trennung den normalen Effekt, Zn $\underset{+}{20}$ und Cu $\underset{-}{10}$. Aus der Beobachtung aber, daß der erste in der Kälte und mit ziemlich kalten Händen vorgenommene Versuch nach der Trennung regelmäßig beiderseits Negativität und schon der zweite die normale Doppelelektrizität liefert, muß mangels eines anderen Grundes geschlossen werden, daß die beiden Metalle nach dem zweiten nur darum mit normalem Effekte antworteten, weil sie inzwischen wärmer geworden waren. Das Zink bleibt also bei dem Erfolge Zn und Cu
 — —

darum negativ, d. h. es kühlt sich bei der Trennung deshalb nicht bis zur subnormalen Positivität (S. 34) ab, weil zum raschen Abkühlen noch zu wenig Wärme da war. Ein großer Temperatursturz konnte gar nicht stattfinden; denn nur was schnell verhältnißmäßig stark warm geworden ist, kühlt sich auch schnell stark ab.

2. Eine Stunde später waren auf dem Tische nur noch 14°, ich fühlte mich wenig warm und die Platten, die über eine halbe Stunde ausgeruht hatten, erwiesen sich einzeln o o und o o, und auch der Voltasche Fundamentalversuch ergab damit o o und o o. Der Erfolg würde aber höchst wahrscheinlich nicht so ausgefallen sein, wenn ich nicht bei der Verbindung und Trennung blos die alleruntersten Teile der Glasfüße angefaßt und sie in der Zwischenzeit nicht losgelassen hätte; denn als ich mich eine halbe Stunde später wieder vor die Platten setze, ihre Glasfüße aber 3—4 cm höher oben anfasse, so daß die Hände — sie waren unterdessen jedoch nicht wärmer geworden — den Platten um ebenso viel näher kamen, so erscheint nach der Verbindung und Trennung der normale Effekt, wenn das Zink auch nur $\underset{+}{5}$ und das Kupfer $\underset{-}{2}$ ist (vergl. 7). Ebenso kam er auch zustande als ich wieder etwas später beide Glasfüße zwar ganz tief unten angriff, sie aber während der Verbindung nicht losließ, so daß sie während derselben die von den Händen her kommenden, wenn auch schwachen, Wärmestrahlen bekommen mußten. Und am folgenden Vormittage, wo zwar auf dem Tische wieder 14,5°, mir aber, weil ich zu Hause blieb, lange nicht so kalt war wie am Tage vorher, trat nach der ersten Verbindung und Trennung derselben Platten allerdings auch keine Elektrizität auf, aber nach der Erwärmung der Hände an der Kaffekanne erschien sofort Zn $\underset{+}{20}$ und Cu $\underset{-}{25}$.

Demnach ist es nur natürlich, daß **dünne, d. h. bloß $^1/_2$ mm dicke Zink- und Kupferplatten,** die einfach der Klempner herrichtete, auch in der Kälte, selbst wenn ihre Stiele noch so wenig und mit sehr kalten Händen angefaßt wurden, **allezeit den normalen Effekt geben**; außerdem aber scheint die Feststellung dieser Thatsache noch darum nützlich, weil aus dem Unterschiede im elektrischen Verhalten von dick und dünn umgekehrt sich thermologische Schlüsse von Belang ableiten lassen dürften.

Noch etwas mehr verfeinern läßt sich der Fundamentalversuch Volta's; zuvor müssen wir jedoch ein Wort über den verkehrten Effekt sagen; denn er hat, wenn auch das reine Gegenteil, dieselben Ursachen wie der echte, nur daß diese ihre Plätze vertauscht haben.

Der verkehrte Effekt entsteht durch Abänderungen, die manchmal ganz gegen unseren Willen geschehen, nämlich wenn man die Empfindlichkeit der Platten gegen Temperatureinflüsse noch nicht kennt und sich in dieser Beziehung nicht gehörig in Acht nimmt. Oben, bei dem Hauptversuche vom 22. Dezember 1895 sahen wir, daß das Zink nur dann von seiner Verbindung her negativ blieb, wenn es unnatürlich wenig erwärmt ward, und erst nachdem es so viel Wärme empfangen hatte, als die Platten beim gewöhnlichen Umgange mit ihnen allezeit bekommen, positiv wurde. Da sich nun das Zink, wie wir (Kap. IV) umständlich nachwiesen, durch die mensch-

lichen Wärmestrahlen leichter erwärmt als das Kupfer, so hält sich das erstere unter normalen Verhältnissen auch allezeit etwas wärmer als das letztere, und demzufolge ist es zum Gelingen des Voltaeffektes notwendig, daß die beiden Metalle dieses ihr normales Wärmeverhältnis besitzen bez. durch die Nähe von jemandem, der nicht ungewöhnlich kalt ist, wiederbekommen, was ja in wenigen Sekunden geschehen kann. Wünschen wir also beim Fundamentalversuche den umgekehrten Effekt, so brauchen wir nur das normale Temperaturverhältnis der beiden Metalle umzukehren, und da wir es bei den Metallen, die heutzutage zum Grundversuche Volta's fast ausschließlich benutzt werden, beim Zink und Kupfer wenigstens im allgemeinen kennen, so ist es keine Kunst, die anfangs immerhin eigen anmutende Umkehrung zu wege zu bringen.

3. Am 21. Dezember 1895 fing ich früh 7,30 Uhr an zu arbeiten. Auf dem Tische waren 14° und die beiden je 2 mm dicken Zink- und Kupferplatten standen 40 cm von der Lampe entfernt unelektrisch vor mir. Sofort, nachdem sie untersucht waren, wendete ich die Zinkplatte um und setzte sie, wie das nebenstehende Figürchen ⊥ andeutet, mit ihrer Fläche auf einen Amboß, der auf dem Nebentische, wo das Thermometer 14° zeigte, stand; die Kupferplatte aber stellte ich unter die Lampe, wo 16° waren und ließ so beide eine Minute lang ruhig stehen. Hierauf nahm ich die Zinkplatte schief, damit sie nicht elektrisch würde, von ihrer Unterlage ab, fand auch das Kupfer noch unelektrisch, legte dasselbe auf das abseits stehende Zink und nun war während dieser ihrer Verbindung jedes von beiden Metallen mittelst IIa an 10 mm positiv, nach ihrer regelrechten Trennung aber, die sogleich nach den beiden Untersuchungen erfolgte, das Zink 30 mm negativ und das Kupfer 30 mm positiv. Also der verkehrte Effekt und zwar mit sehr großen Ausschlägen! Die Erklärung ist einfach: Bei der Verbindung ward das Zink sehr schnell und sehr vollkommen von dem Kupfer erwärmt, die dadurch entstandene Positivität des ersteren teilte sich dem letzteren mit und bei der Trennung kühlte sich nur das empfindliche Zink so stark ab, daß es sein Zeichen wechselte, während das träge Kupfer nicht nur das seine behielt, sondern, befreit von dem ihm die Wärme wegnehmenden Zink, sogar viel stärker positiv wurde. Nachher gelang es noch mehrere Male mit denselben Platten den umgekehrten Effekt zu bekommen; dann aber trat eine Wendung ein, indem beide nach der Trennung wieder positiv waren. Daraus schloß ich, daß das Zink vom Kupfer nicht mehr so sehr wie zu Anfange erwärmt, also jetzt nach der Trennung zu wenig kälter werden konnte. Deshalb wurde das Kupfer wieder, aber nur eine halbe Minute unter die Lampe, das Zink ebenso lange auf den jetzt am Fenster stehenden, also inzwischen keinesfalls wärmer gewordenen Amboß gestellt, und nun erhielt ich wirklich wieder den gewünschten verkehrten Effekt: Zn $\underset{-}{20}$ und Cu $\underset{+}{20}$!

4. Am 3. Dezember 1895 war auf meinem Arbeitstische im ungeheizten Zimmer 11 Uhr 50 Minuten 12°, ich fror, hatte kalte Hände und die beiden 2 mm dicken Volta-Platten, die vor mir standen, erwiesen

sich als unelektrisch. Hierauf fasse ich einzig und allein und zwar ganz unten den Glasfuß der Kupferplatte an, setze sie auf die Zinkplatte, also ohne dieser mit der andern Hand irgendwie nahe zu kommen, hebe jene nach zwei Sekunden wieder ab und bekomme *den umgekehrten Effekt:* $\underset{-}{\text{Zn}}$ 12 und $\underset{+}{\text{Cu}}$ 8. Eine halbe Stunde später, nachdem die Platten also ihr natürliches Temperaturverhältnis zu einander wieder angenommen haben konnten, mache ich in gewisser Hinsicht das Gegenteil, d. h. ich fasse mit derselben Vorsicht nur den Fuß der Zinkplatte an, setze sie auf das Kupfer und erhalte nach der regelrechten Trennung — *den normalen Effekt.* Warum jetzt dieser und vorher jener erschien, mußte an der verschiedenen Behandlung der beiden Platten liegen; denn weiter war nichts geschehen, und nun, da der Versuch nicht nur vollkommen zerlegt, sondern auch aufs äußerste vereinfacht worden ist, kann wohl auch der größte Skeptiker nicht mehr zweifeln, daß die gegebene, so oft ausgesprochene Erklärung richtig ist. Auf jeden Fall darf als feststehend angesehen werden: Diejenige Platte erwärmt sich fast allein, deren Fuß angefaßt wird; folglich haben wir, wenn das nur beim Kupfer geschieht, bei $\frac{\text{Cu}}{\text{Zn}}$, im verkleinerten Maßstabe dasselbe vor uns, was unter 1. vorlag, nämlich warmes Kupfer und kaltes Zink; bei $\frac{\text{Zn}}{\text{Cu}}$ aber, vorausgesetzt daß der Fuß des Kupfers nicht angerührt wurde, das natürliche Verhältnis, warmes Zink und kaltes Kupfer, und was zur Erklärung des Effektes $\underset{-}{\text{Zn}}$ 30 und $\underset{-}{\text{Cu}}$ 30 vom 21. Dezember 1895 früh gesagt wurde, gilt auch hier. Die Verbindungselektrizität durfte in dem Falle vom 31. Dezember freilich nicht festgestellt werden, weil damit zugleich auch die untere, die nicht angefaßte Platte erwärmt und gerade das gethan worden wäre, was um jeden Preis vermieden werden sollte.

Stets bedacht möglichst viel Beweisstücke für die verschiedenen elektrischen Wirkungen der bald dem einen, bald dem andern Plattenpaare und zwar so oder anders zugeführten Erwärmung beizubringen, machte ich mit ihnen in jenen Jahren fast täglich mehrere Stunden lang sehr vielerlei Versuche, und wenn ihre Ergebnisse anfangs einander auch manchmal zu widersprechen schienen, so ließ sich schließlich doch alles befriedigend erklären, wenn auf die Ausführung wie bei den soeben beschriebenen Fällen, die größtmögliche Sorgfalt verwendet wurde. Und die beste Vorstellung, die man sich von der Veränderlichkeit und Zartheit der elektrischen Erregungen überhaupt machen kann, ohne daß dazu mühevolle und den eigentlichen Sachverhalt nur zu leicht störende Handlungen nötig wären, liefert doch nur der Voltasche Fundamentalversuch, wenn man dazu den Mikrokondensator nimmt und sich nicht nur der Eigenschaften der Platten, sondern auch aller obwaltenden anderen Umstände nach jeder Richtung hin genau bewußt ist. Aber auch in großer Menge, en masse muß man sie sehen und selber erzeugen diese feinen und wandelbaren, jedoch höchst gesetzmäßig erfolgenden Anfangserscheinungen der Elektrizität, wenn man die geheime Thätigkeit und

das verborgene Leben fassen will, die jeder Griff und jede Berührung hervorbringen. Nicht unzuverlässig oder zweifelhaft ist, wie hier und da geklagt wurde, Volta's Fundamentalversuch; im Gegenteil giebt er mehr als man erwartet hat und aus ihm mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln herausbekommen kann.

Daher erlaube ich mir immer noch ein paar von den instruktivsten Versuchsreihen hinzuzufügen.

5. Am 28. Februar 1896 ward vormittags 9′50″, während mir mäßig warm war, die auf dem 14° warmen Tische stehende 2 mm dicke unelektrische Kupferplatte $^3/_5$ Sekunden lang auf die 2 mm dicke Zinkplatte gesetzt, indem ich nur den Stiel der ersteren mit drei Fingern ganz unten anfaßte; nach der Trennung Zn = o o und Cu = o o. Unter derselben Vorsicht 9′52″ $\frac{Cu}{Zn}$ 4 Sekunden lang: Wieder Zn = o o und Cu = o o. 9′56″ $\frac{Cu}{Zn}$ in derselben Weise, aber 5 Sekunden lang, und nun war der Erfolg nach der Trennung Zn = $\underset{-}{4}\ \underset{-}{15}$ und Cu = 0 $\underset{-}{4}$! Hiernach wird die Nullprobe gemacht, d. h. das Pendelblättchen auf jede Platte gelegt und daran die Stricknadelspitze (S. 17 Fig. 12) so lange gehalten, bis jenes ganz unelektrisch ist. 9′59″ $\frac{Cu}{Zn}$ nur 1 Sekunde lang; aber dabei wurden die Stiele beider Metalle unten angefaßt, und nun war der Effekt der normale, nämlich Zn = $\underset{+}{15}\ \underset{+}{20}$ und Cu = $\underset{-}{5}\ \underset{-}{14}$!

6. Am folgenden Vormittage war 7′15″ auf dem Tische 12,5° und mir warm, weil ich Kaffee getrunken hatte. Die 2 mm dicken Platten, womit eine halbe Stunde vorher mehrmals der Voltaeffekt erhalten worden war, werden 7′45″ bis auf 60 cm Entfernung vom Tischrande vor mir zurückgeschoben, worauf ich 2 m weit vom Arbeitstische fortgehe und mich erst 7′55 wieder heransetze, um mit drei Fingern des ausgestreckten rechten Armes $^3/_5$ Sekunden lang das ganz unten angefaßte Kupfer auf das Zink zu stellen. Wieder ist nach der Trennung, wie im vorigen Falle 9′56, doppelte Negativität zu beobachten, und hier ward sie auf handgreifliche Weise, nämlich dadurch erreicht, daß die Platten fast nur von den Händen und kaum noch vom Kopfe und Rumpfe bestrahlt, also entschieden weniger erwärmt wurden als wenn sie, wie gewöhnlich nur 30 cm von mir entfernt auf dem Tische stehen. Um trotzdem die Gegenprobe zu machen, ließ ich die Platten noch in demselben Abstande von mir, leitete sie ab und entfernte mich wieder, wie 7′45, zehn Minuten lang um 2 m, ziehe aber unmittelbar, ehe ich wieder an den Tisch zurückkehre, nur allein das Kupfer und zwar ganz unten an seinem Fuße mit drei Fingern der rechten Hand anfasse und $^3/_5$ Sekunden auf das Zink stelle, mein Müffchen, das bis über das rechte Handgelenk reicht, jedoch völlig unelektrisch ist, ab, so daß nun nicht nur mehr Wärme aus dem Aermel heraus kommen, sondern auch die Oberfläche der Hand direkt ausstrahlen kann — und sogleich ist nach der Trennung

der Platten schon mittelst IIb der normale Effekt da, nämlich Zn $\underset{+}{5}$ und Cu $\underset{-}{3}$, der mit IIa mindestens Zn $\underset{+}{40}$ und Cu $\underset{-}{25}$ betragen haben würde. So viel hatte die vermehrte, wenn auch im Ganzen bloß etwa eine Sekunde dauernde Wärmezufuhr zu den so weit von mir abstehenden Metallen gethan!

7. Dieses Beispiel soll noch einmal und, wie ich glaube, einwandfrei zeigen, daß der Volta-Effekt nur dann erscheint, wenn die Stiele der Platten einfach mit den warmen Händen, wie man es seit hundert Jahren that, angefaßt werden. Am 28. Januar 1896 standen vormittags 9 Uhr die $1^1/_2$ mm dicke Zink- und die ebenso dicke Kupferplatte im ungeheizten Zimmer auf dem Tische, wo das Thermometer $13^1/_2{}^\circ$ zeigte; doch war mir ziemlich warm. $9'4'' \frac{\text{Zn}}{\text{Cu}}$ 1 Sekunde lang; während dieser Zeit ward aber die Hand, die das Zink auflegte, zurückgezogen und der Fuß des Kupfers nicht angefaßt. Nach paralleler Trennung giebt die IIa-Probe auf jeder Platte o o. $9'15'' \frac{\text{Cu}}{\text{Zn}}$ $^1/_2$ Sekunde lang, wobei der Fuß des diesmal unten befindlichen Zinks nicht berührt ward; nach paralleler Trennung wieder Cu o o und Zn o o. 9'30 aber wird, nachdem ich die letzten 13 Minuten fern vom Arbeitstische zugebracht hatte, mit der einen Hand der Stiel des Kupfers und mit der anderen der des Zinks gleichzeitig erfaßt und zwar in der Mitte, wo das Glas aufhört und der Siegellack anfängt, so daß die Finger, wie wenn man den Fundamentalversuch mit den gewöhnlichen Platten macht, nur noch etwa 5 cm von den Metallen entfernt waren (S. 22, Fig. 13), sogleich das Zink auf das Kupfer $^1/_2$ Sekunde gestellt, ohne daß die Hände, wieder wie bei der vorschriftsmäßigen Ausführung des Grundversuches, einen Augenblick losließen, und sofort ergiebt nach der Trennung die Probe IIa Zn = $\underset{+}{30}$ und Cu = $\underset{-}{20}$!

Es ist ja auch möglich den Fundamentalversuch ganz ohne daß einer von den beiden Platten irgendwie die Hand genähert wird, auszuführen, nämlich indem man die obere auf die untere durch eine Schwebevorrichtung niederläßt. Indessen giebt es dabei sehr leicht Stöße, und um diese zu vermeiden ein ganz ruhig gehendes Senkwerk anzuschaffen schien mir die Sache nicht wert, da doch die Kompressionswärme bleibt und sich ja auch aus der tieferen Abkühlung des ganzen Körpers folgern ließ, was er in seinem natürlichen Zustande durch die Wärmestrahlen vermag, die er bald mehr bald weniger kräftig und weit aussendet. Unzweifelhaft elektrisiert unter Umständen einer den andern; doch weiß es meistens keiner. Zu Heilzwecken muß aber besser als bisher verfahren werden, und jetzt, da wir wissen, wie Elektrizität entsteht und daß ihr Fortbestand mit Zeichenwechseln verbunden ist, die wieder von Temperaturwechseln abhängig sind, so kann es nicht schwer sein, ihre Erzeugung und Anwendung zweckdienlich einzurichten. Denn weniger auf die von Maschinen und dergl. hervorgebrachte Elektrizität sind unsere Nerven gestimmt, sondern vielmehr auf jenes fortwährend und unregelmäßig

wechselnde Produkt gemäßigter Erwärmung und Abkühlung, wonach alles Lebendige schmachtet und das vor allem durch seine unablässige Bildung kleiner Mengen von Ozon unmittelbar oder mittelbar den Stoffwechsel unterhält, der für die ganze organisierte Natur so unentbehrlich ist.

Bleibt nur noch übrig einer für die Lehre vom Volta'schen Fundamentalversuche nicht unwichtigen, zwar schon vor langen Jahren, damals aber ohne rechten Nutzen (von Bischof und Münchow [Pogg. Ann. 1, 279, 1824]) ausgeführten Modifikation desselben zu gedenken, nämlich der Verwendung von einem und demselben Metalle, also vor allem des Versuches mit zwei Kupfer- oder mit zwei Zinkplatten.

Daß auch diese den Volta-Effekt geben, hängt jedoch von einer, wenn auch überaus einfachen Bedingung ab: **Sie müssen verschieden dick sein!** Denn dann haben wir wieder ein schwerer und ein leichter erwärmbares Metall, und genau wie bei $\frac{Zn}{Cu}$ oder $\frac{Cu}{Zn}$ entsteht Verbindungselektrizität, die mit Probe IIa in der Kälte negativ, in der Wärme positiv ist, und bekommen nach der Trennung Negativität der etwa 2 mm dicken, und Positivität der ungefähr $^1/_2$ mm dünnen Platte.

Das Nähere hierüber zu erörtern, erscheint nicht nötig, denn die Befunde sind im wesentlichen dieselben wie bei den heterogenen Metallen, und das, worauf es mir ankam, ist erreicht, nämlich die nochmalige Beibringung eines Beweises für die Richtigkeit unserer Erklärung des Volta-Effektes.







